

**ESTUDIO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN  
MASA DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ, DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

**VOLUMEN II**

**DETERMINACIÓN DE LA AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO  
DEL CASCO URBANO DE VÉLEZ**

**ELABORADO POR:**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**GEOMÁTICA**

**Gestión y optimización de sistemas**

**PRESENTADO A:**



**Municipio de Vélez**

**AGOSTO DE 2015**

**BUCARAMANGA**

**ESTUDIO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN  
MASA DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ, DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

**VOLUMEN II-A  
DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL  
CASCO URBANO DE VÉLEZ**

**ELABORADO POR:**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**GEOMÁTICA**

**Gestión y optimización de sistemas**

**PRESENTADO A:**



**Municipio de Vélez**

**AGOSTO DE 2015**

**BUCARAMANGA**

**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO:****No. 9677-04-1127-2013**

**OBJETO:** Aunar esfuerzos administrativos, financieros y técnicos para contratar y desarrollar el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Municipio de Vélez, Departamento de Santander

**INFORME:** Volumen II-A Determinación de la susceptibilidad del casco urbano de Vélez

**ELABORADO POR:** UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



Grupo de investigación:

GEOMATICA, Gestión y optimización de sistemas



**Coordinación técnica** Hebenly Celis Leguizamo  
Ingeniera Civil  
Especialista en Asfaltos y Pavimentos  
Magíster en ingeniería Civil

Wilfredo Del Toro Rodríguez  
Ingeniero Civil  
Magíster en ingeniería Civil-Área Geotecnia  
Especialista en preservación de recursos hídricos y de suelos

**Director general** Hernán Porras Díaz  
Ingeniero Civil  
Magíster en Informática  
Magíster en Gestión Tecnológica  
Doctor Ingeniero en Telecomunicaciones

Bucaramanga, Agosto de 2015

**Equipo técnico**

Darío Villamizar  
Ingeniero Forestal  
Magister en Geografía física  
Especialista políticas ambientales en la conducción de proyectos

German Alfonso Reyes Mendoza  
Geólogo  
Especialista en Riesgos Geológicos y Prevención de Desastres  
Especialista en Derecho Ambiental  
Magister en Geología  
Estudiante de Doctorado

Gustavo Chio Cho  
Ingeniero Civil  
Especialista en Docencia Universitaria  
Doctor en Ingeniería de caminos, Canales y puertos

Wilfredo Del Toro Rodríguez  
Ingeniero Civil  
Magister en ingeniería Civil-Área Geotecnia  
Especialista en preservación de recursos hídricos y de suelos

Luis Eduardo Moreno Torres  
Ingeniero civil  
Especialista en Ingeniería Ambiental  
Especialista en Alta Gerencia  
Especialista en Docencia Universitaria

Héctor Torres Ortiz  
Ingeniero civil  
Estudiante de Maestría en Geotecnia

Silvia Ruggeri  
Bióloga  
Especialista en Monitoreo Biológico

**Equipo de apoyo técnico**

Johanna Lucia Pimiento Ardila  
Ingeniera civil

Andrea Marcela Vera Guarín  
Ingeniera civil

Yuseth Sebastián Gómez Neira  
Ingeniero civil

Andrés Julián Ulloa Moreno  
Ingeniero civil

John Jairo Báez Lizarazo  
Ingeniero civil

Sandy Jair Yanes Sánchez  
Ingeniero Civil  
Especialista en Sistemas de información Geográfica

Jesús Orlando Escalante Torrado  
Ingeniero civil  
Estudiante de Maestría En Ingeniería Civil

Dewin Aguilera Lizarazo  
Geólogo  
Estudiante de Maestría en Geotecnia

Duvan Yahir Sanabria Echeverry  
MSc. Ing. Sistemas e Informática

Elver Omar Gallo Lancheros  
MSc. Ing. Sistemas e Informática



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>2. ASPECTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>17</b>
<b>3. ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>19</b>
<b>4. PENDIENTES.....</b>	<b>21</b>
<b>5. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA .....</b>	<b>24</b>
5.1. GEOLOGIA REGIONAL .....	24
5.1.1. Marco Geotectónico .....	24
5.1.2. Estratigrafía general .....	25
5.1.3. Estructuras geológicas regionales .....	32
5.1.4. Sistema de fallas del río Suárez.....	33
5.1.5. Sinclinal y anticlinal de Vélez .....	33
5.2. GEOLOGIA LOCAL.....	34
5.2.1. Estudios previos locales.....	34
5.2.2. Unidades litológicas.....	34
5.3. DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES.....	54
5.3.1. Ponderación por factor litológico.....	54
5.3.2. Interpretación de la susceptibilidad por factor litológico.....	55
5.4. ANÁLISIS GEOLÓGICOS DETALLADOS.....	60
5.4.1. Sedimentología de muestras de mano.....	60
5.4.2. Petrografía local.....	62
5.4.3. Análisis de resultados.....	64
5.5. RECOMENDACIONES .....	69
<b>6. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA.....</b>	<b>70</b>
6.1. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO GENERAL .....	70
6.2. TAXONOMÍA DE LAS GEOFORMAS PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	70
6.3. GEOFORMAS PRESENTES EN LOS TERRENOS DONDE SE UBICA EL ÁREA URBANA DE VÉLEZ .....	78
6.3.1. Terrenos de la parte alta de Vélez (escarpe del escalón El Amarillo).....	78
6.3.2. Terrenos de la plataforma del escalón de Vélez .....	94
6.3.3. Terrenos (escarpes) de la parte baja del escalón de Vélez .....	101
6.3.4. Terrenos del escalón del Sena.....	108
6.4. MORFOGRAFÍA.....	113
6.4.1. Terrenos de la parte alta de Vélez.....	114
6.4.2. Terrenos de la plataforma del macroescalón de Vélez .....	118
6.4.3. Terrenos (escarpes) de la parte baja del macroescalón de Vélez.....	119
6.4.4. Terrenos del macroescalón del SENA.....	121
6.5. MORFOGÉNESIS (ORIGEN DE LAS DIFERENTES GEOFORMAS BÁSICAS).....	123
6.4.3. Terrenos de la parte alta de Vélez.....	123
6.4.4. Terrenos de la plataforma del macroescalón de Vélez .....	126
6.4.5. Terrenos (escarpes) de la parte baja del macroescalón de Vélez .....	128
6.4.6. Terrenos del macroescalón del Sena.....	129
6.5. PROCESOS MORFODINÁMICOS .....	131

6.4.7.	<i>Procesos morfodinámicos de carácter hidrológico</i>	131
6.4.8.	<i>Dinámica de vertientes</i>	133
6.4.9.	<i>Procesos morfodinámicos de carácter antrópico</i>	137
5.6	<b>GEOFORMAS DE ORIGEN ESTRUCTURAL</b>	141
5.7	<b>CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN SU AMENAZA GEOMORFOLÓGICA</b>	144
<b>6.</b>	<b>USO Y COBERTURA DEL SUELO DE LAS AREAS URBANAS DE VELEZ, GUALILO, PALO BLANCO Y LOS GUAYABOS, MUNICIPIO DE VELEZ, DEPARTAMENTO DE SANTANDER</b>	<b>146</b>
6.5.	<b>DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO</b>	146
6.6.	<b>DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA</b>	150
6.6.1.	<i>Unidades de cobertura y uso del suelo empleadas para el estudio</i>	150
6.6.2.	<i>Insumos cartográficos</i>	152
6.6.3.	<i>Identificación preliminar de las unidades de uso y cobertura del suelo</i>	153
6.6.4.	<i>Validación de las unidades de cobertura delimitadas</i>	155
6.6.5.	<i>Depuración de la información y obtención de la cartografía final</i>	156
6.7.	<b>RESULTADOS</b>	157
6.7.1.	<i>Descripción de las unidades de uso y cobertura del suelo</i>	157
6.7.2.	<i>Resultados</i>	188
6.8.	<b>CALIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD</b>	200
6.8.1.	<i>Evapotranspiración</i>	202
6.8.2.	<i>Profundidad de drenaje (profundidad de infiltración)</i>	206
6.8.3.	<i>Profundidad del sistema radicular</i>	208
6.8.4.	<i>Estratos de la cobertura</i>	209
6.8.5.	<i>Calificación de las unidades de uso y cobertura del suelo</i>	211
<b>7.</b>	<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	<b>217</b>
7.1.	<b>CONTEXTO HIDROLOGICO GENERAL</b>	217
7.1.1.	<i>Función Ecológica</i>	218
7.1.2.	<i>Función Ambiental</i>	218
7.2.	<b>TIPO DE DRENAJE PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO</b>	219
7.3.	<b>DEFINICIÓN DE UNIDADES HIDROLÓGICAS PRESENTES EN EL ÁREA URBANA DE VÉLEZ</b>	219
7.3.1.	<i>Perímetro</i>	221
7.3.2.	<i>Longitud de la cuenca</i>	222
7.3.3.	<i>Ancho promedio</i>	222
7.3.4.	<i>Forma de la cuenca</i>	223
7.3.5.	<i>Otros índices de forma</i>	225
7.3.6.	<b>PROFUNDIDAD DE LA CUENCA</b>	227
7.3.7.	<i>Elevación o altitud de la cuenca</i>	227
7.3.8.	<i>Pendiente de la cuenca</i>	229
7.3.9.	<i>Relieve de la cuenca</i>	230
7.4.	<b>ANÁLISIS MORFOMÉTRICOS DE LA RED DE DRENAJE DE UNA CUENCA</b>	232
7.4.1.	<i>Forma</i>	232
7.4.2.	<i>Morfometría Hidrográfica</i>	232
7.4.3.	<i>Sistemas de Drenaje</i>	232
7.5.	<b>ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO DEL ÁREA URBANA DE VÉLEZ</b>	236
7.5.1.	<i>Precipitaciones medias (mm/año)</i>	236
7.5.2.	<i>Distribución espacial de la precipitación</i>	239
7.5.3.	<i>Distribución temporal de la lluvia</i>	240
7.5.4.	<i>Temperatura media anual</i>	241
7.5.5.	<i>Evaporación</i>	243



7.5.6.	<i>Humedad relativa</i> .....	244
7.5.7.	<i>Brillo solar</i> .....	246
7.5.8.	<i>Evapotranspiración</i> .....	247
7.5.9.	<i>Balance hídrico de valores medios para la zona urbana y periferia del municipio de Vélez Santander</i> .....	248
7.5.10.	<i>Determinación de los caudales máximos de avenida para el área urbana de Vélez</i> <i>253</i>	253
7.6.	<b>MODELO FÍSICO DE LA CUENCA</b> .....	254
7.6.1.	<i>Tiempo de concentración</i> .....	255
7.6.2.	<i>Modelo meteorológico</i> .....	256
7.7.	<b>AGUAS SUBTERRÁNEAS BAJO EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ SANTANDER</b> .....	260
7.8.	<b>INTERPRETACIÓN DE ENSAYOS DE BOMBEO EN POZOS DE GRAN DIÁMETRO EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ SANTANDER</b> .....	261
7.8.1.	<i>Procesamiento de la información y determinación de resultados</i> .....	266
7.8.2.	<i>Ensayos tipo Slug Test para determinación de la permeabilidad in situ</i> .....	267
7.8.3.	<i>Piezometría área urbana de Vélez</i> .....	271
7.8.4.	<i>Calificación para el cálculo de susceptibilidad</i> .....	273
8.	<b>SUSCEPTIBILIDAD A FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA</b> .....	275
9.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	277



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Metodología para la evaluación de susceptibilidad y amenaza híbrida por Movimientos en Masa.....	18
<b>Figura 2.</b>	Delimitación del área de estudio para el casco urbano de Vélez.....	20
<b>Figura 3.</b>	Mapa de pendientes del casco urbano de Vélez (Plano U-02).....	22
<b>Figura 4.</b>	Mapa de susceptibilidad por pendientes del casco urbano de Vélez (Plano U-03).....	23
<b>Figura 5.</b>	Mapa geoestructural de la parte noroccidental de la Cordillera Oriental. Vélez se ubica abajo, en la estrella blanca, sobre rocas del Cretácico; Bucaramanga, se encuentra arriba al centro. 24	24
<b>Figura 6.</b>	Columna estratigráfica generalizada del Cretácico, al sur de Santander.....	25
<b>Figura 7.</b>	Mapa geológico del municipio de Vélez y alrededores. El óvalo negro ubica su área urbana, fundada sobre la Formación Paja (Kip), con amplio patrón de afloramiento orientado al NE. Las carreteras principales se resaltaron en líneas rojas.....	26
<b>Figura 8.</b>	Correlación cronoestratigráfica de las formaciones del Cretácico inferior.....	27
<b>Figura 9.</b>	(a) Detalle de calizas fosilíferas y escarpes rocosos (b) de la Formación Rosablanca (Kir), evidentes en el tramo vial del puente Eduardo Santos hasta el río Fonce (hacia Berlín). 28	28
<b>Figura 10.</b>	Detalle de la Formación Paja: (a) Izquierda, lutitas o shales observables en la vía hacia el municipio de Encino; (b) derecha, concreciones septarias presentes en la parte baja del municipio de Galán, cerca de la confluencia entre los ríos Suárez y Fonce.....	29
<b>Figura 11.</b>	Contacto estratigráfico entre la infrayacente unidad K1r (o Kir), conformada por calizas, y la unidad K1p (o Kip), eminentemente lutítica: (a) izquierda en el puente Eduardo Santos sobre el río Suárez; (b) derecha, en cantera de calizas de Curiti.....	30
<b>Figura 12.</b>	Aspecto de caliza fosilífera identificada en la sección tipo: micrita gris con restos de braquiópodos reemplazados y fisuras rellenas con calcita blanquecina. Afloramiento sobre el puente el Tablazo, en la vía la Renta-San Vicente de Chucurí.....	30
<b>Figura 13.</b>	Corte geológico adaptado de la Plancha 170 Vélez.....	33
<b>Figura 14.</b>	Mapa de estaciones geológicas realizadas dentro del área urbana de Vélez (Anexo III-2). 35	35
<b>Figura 15.</b>	Localización geográfica de las columnas litoestratigráficas detalladas dentro del área urbana de Vélez (Anexo III-4).....	36
<b>Figura 16.</b>	Afloramiento (COL3) de limolitas grises, laminadas y fisibles, que se meteorizan originando estructuras "pajizas", relacionadas a su nombre: Formación Paja.....	37
<b>Figura 17.</b>	Columna 3 (ver Anexo III-3.1), en donde se observan las dos capas de limolitas arcillosas.....	38
<b>Figura 18.</b>	Huellas de cefalópodos presentes en las capas de limolitas de la columna 3.....	39
<b>Figura 19.</b>	Columna 11 ( Anexo III-3.3).....	39
<b>Figura 20.</b>	Izquierda, capa de limolita arcillosa; derecha, detalle de cefalópodo en ella contenido.....	40
<b>Figura 21.</b>	Lutita gris observada en la COL8 (Anexo III-3.2).....	41
<b>Figura 22.</b>	Detalle de superficie de estratificación de lodolita gris (unidad Kip).....	42
<b>Figura 23.</b>	Suelo residual, con lodolitas pardo-grisáceas.....	42
<b>Figura 24.</b>	Limolita arcillosa laminada, COL15 (Anexo III-3.5).....	43
<b>Figura 25.</b>	Limolita arcillosa laminada (abajo), cubierta por limolita masiva.....	43
<b>Figura 26.</b>	A. Limolita arcillosa negra a grisácea, con laminación plana paralela discontinua, pero la roca es masiva. Composicionalmente presenta CaCO <sub>3</sub> y OF hasta 1%. e=0,40 m.....	44
<b>Figura 27.</b>	En rojo nódulo calcáreo en capa D de la Columna 9 ( Anexo III-3.3).....	45

<b>Figura 28.</b>	Columna litoestratigráfica del área urbana del municipio de Vélez, editada a escala 1:140.	46
<b>Figura 29.</b>	Mosaico: a. Arcillolita; b. Limolita arcillosa; c. Nódulo; d. Huella de cefalópodo.	47
<b>Figura 30.</b>	Mosaico: a. Laminación ondulosa; b. Huellas de cefalópodos; c. Arcillolita masiva; d. Limolita arcillosa calcárea (lodo micrítico) que reacciona al HCl.	48
<b>Figura 31.</b>	Mosaico: a. Espacio de nódulo calcáreo; b. contacto de arcillolitas masivas (abajo) con limolitas fisiles (arriba); c. Secuencia de limolitas, COL14 (ANEXO III-5.12); d. Muestra de limolita.	49
<b>Figura 32.</b>	Detalle de coluviones del grupo Qc1: a) Izquierda, en inmediaciones del barrio los Cerezos, con un almacén de fragmentos de lutitas y areniscas calcáreas, en matriz limosa pardo-anaranjada; b) derecha, barrio la Esperanza, cuyas gravas alcanzan mayores tamaños (por ejemplo, ver el bloque rocoso bajo la libreta).	50
<b>Figura 33.</b>	Depósito coluvial Qc1, en la calle 11 con cra. 8: guijos y gujarros angulares, de areniscas de grano muy fino, calcáreas, en matriz lodosa beige.	51
<b>Figura 34.</b>	a) Depósito coluvial Qc2, visto en potreros aledaños al barrio la Rosita (al centro) y al SENA; b) izquierda detalle del coluvión sobre una zona de borde, con matriz anaranjada y guijos angulares; c) derecha, bloque conformado por arenisca calcárea nodular. Estas rocas, de gran tamaño (3,5 m de diámetro) cubren ocasionalmente el depósito sedimentario, al oriente de la población.	51
<b>Figura 35.</b>	Afloramiento de coluvión Qc3, en donde se observan bloques de areniscas calcáreas de hasta 1.2 m de diámetro, embebidos en una matriz lodosa parda a gravosa fina. Punto de toma: Cra. 6 con calle 12.	52
<b>Figura 36.</b>	Aspectos de los aluviones recientes (Qal) de la quebrada las Flores.	52
<b>Figura 37.</b>	Pendientes estructurales, sin depósitos sedimentarios, por donde discurre la quebrada el Palenque.	53
<b>Figura 38.</b>	Bloques rocosos que definen el carácter fluviotorrencial (Qft) de la quebrada el Palenque. Arriba el puente de la cra. 3.	53
<b>Figura 39.</b>	Detalle de sustrato de fundación de vivienda, parte alta barrio la Esperanza, cartografiado como unidad litológica Qc2 y que corresponde a la formación superficial coluviones dispersos (Cod). Se observa claramente una matriz lodosa parda con bloques rocosos angulares. Factor litológico Li=5.	56
<b>Figura 40.</b>	Vista del lleno antrópico (formación superficial Llen), conformados por materiales granulares finos de distinta procedencia, el cual fue desestabilizado a mediados de octubre de 2014. Barrio Ricaurte (cra. 3 con diagonal 4), predio del señor Rodolfo María. Factor litológico Li=5.	56
<b>Figura 41.</b>	Panorámica de lleno (Llen) explanado en el barrio el Palenque, sitio Talleres de Casteblanco. Factor litológico Li=5.	57
<b>Figura 42.</b>	Mapa de formaciones superficiales del área urbana de Vélez (Plano U-05).	58
<b>Figura 43.</b>	Mapa de susceptibilidad geológica del área urbana de Vélez (Plano U-06).	59
<b>Figura 44.</b>	Localización muestras analizadas.	60
<b>Figura 45.</b>	Localización muestras analizadas.	63
<b>Figura 46.</b>	Afloramiento de limolitas grises en inmediaciones del barrio San Luis (COL3).	64
<b>Figura 47.</b>	En la parte superior izquierda foto donde se tomó la muestra. En la parte superior derecha foto muestra de mano. En la parte inferior foto tomada en lupa binocular a x80.	65
<b>Figura 48.</b>	Diagrama triangular para la clasificación de rocas terrígenas de grano fino.	66
<b>Figura 49.</b>	Fotomicrografía tomada en nicoles cruzados con objetivo de 5X. Aspecto textural del shale carbonáceo moscovítico. Se observan láminas de materia orgánica intercrecido con hojas discontinuas de micas, principalmente moscovita.	68
<b>Figura 50.</b>	Fotomicrografía tomada en nicoles cruzados con objetivo de 10X. Se observan láminas gruesas de carbonatos silicificados y cloritizados con efectos de compresión.	68
<b>Figura 51.</b>	Serranía La Paz – Chipatá – La Paz.	72

<b>Figura 52.</b>	Escarpe del Escalón El Amarillo.....	73
<b>Figura 53.</b>	Diferencia de estilo en los procesos de erosión.....	74
<b>Figura 54.</b>	Escalón inclinado del casco urbano de Vélez.....	75
<b>Figura 55.</b>	Plataforma del escalón del Sena.....	76
<b>Figura 56.</b>	Concavidad excavada por la quebrada Las Flores.....	77
<b>Figura 57.</b>	Entrante de la cárcel y campo de Fútbol El Campín, entrante del relieve con caída hacia la cárcel municipal.....	79
<b>Figura 58.</b>	Digitación inclinada al norte de la Calle 13.....	80
<b>Figura 59.</b>	Fondo de valle del Barrio la Esperanza Alto.....	81
<b>Figura 60.</b>	Digitación inclinada del costado sur del barrio La Esperanza Alto.....	82
<b>Figura 61.</b>	Cabecera norte del valle intermedio.....	83
<b>Figura 62.</b>	Fondo de valle entre las calles 12 y 13.....	84
<b>Figura 63.</b>	Digitación inclinada del costado norte de la calle 12.....	85
<b>Figura 64.</b>	Valle de la quebrada Las Flores.....	86
<b>Figura 65.</b>	Cabecera principal del valle de la quebrada Las Flores.....	86
<b>Figura 66.</b>	Digitación inclinada del Barrio Kennedy.....	87
<b>Figura 67.</b>	Altos del barrio Aquileo Parra.....	88
<b>Figura 68.</b>	Digitación inclinada del barrio América India.....	89
<b>Figura 69.</b>	Concavidad en cuenca de la quebrada Palenque.....	90
<b>Figura 70.</b>	Punta del interfluvio entre las quebradas Palenque y La Lajita.....	91
<b>Figura 71.</b>	Cabeceras de la quebrada La Lajita.....	92
<b>Figura 72.</b>	Faceta triangulas de Santa Teresita.....	93
<b>Figura 73.</b>	Tramo en proceso de hundimiento.....	95
<b>Figura 74.</b>	Terrenos planos de la plaza de Ferias.Relleno antrópico.....	96
<b>Figura 75.</b>	Cauce de la quebrada Las Flores.....	97
<b>Figura 76.</b>	Digitación de la calle 12.....	97
<b>Figura 77.</b>	Calle 12.....	98
<b>Figura 78.</b>	Meseta de Vélez.....	99
<b>Figura 79.</b>	Valle de las quebradas Palenque – La Lajita.....	100
<b>Figura 80.</b>	Escalón del barrio Santa Teresita.....	101
<b>Figura 81.</b>	Cañón abierto por la quebrada Las Flores.....	102
<b>Figura 82.</b>	Costado norte de la digitación de la calle 12.....	103
<b>Figura 83.</b>	Valle de la quebrada o Caño Los Naranjos.....	104
<b>Figura 84.</b>	Escarpes de la meseta de Vélez.....	105
<b>Figura 85.</b>	Interfluvio entre las quebradas Palenque – La Lajita.....	106
<b>Figura 86.</b>	Graderío estructural intervenido.....	107
<b>Figura 87.</b>	Concavidad de entrante de erosión del riachuelo San Andresito.....	108
<b>Figura 88.</b>	Margen derecha quebrada Las Flores.....	109
<b>Figura 89.</b>	Componente norte del macroescalón del Sena.....	110
<b>Figura 90.</b>	Detalle del ancho interfluvio Palenque – Las Lajitas.....	111
<b>Figura 91.</b>	Componente sur del macroescalón del Sena.....	112
<b>Figura 92.</b>	Cabeceras de la concavidad de la quebrada Chapinero.....	113
<b>Figura 93.</b>	Escarpe de erosión con caída hacia la quebrada Las Flores.....	116
<b>Figura 94.</b>	Concavidad labrada por la quebrada Palenque.....	117
<b>Figura 95.</b>	Plano inclinado en partes altas del barrio Aquileo.....	135
<b>Figura 96.</b>	Perfil de suelo en corte del costado sur de la calle 11.....	135
<b>Figura 97.</b>	Cabeceras de superficiales movimientos.....	136
<b>Figura 98.</b>	Lineamientos horizontales de la estratificación lutítica.....	136
<b>Figura 99.</b>	Borde sur del componente norte del macroescalón del Sena.....	137
<b>Figura 100.</b>	Escalón antrópico de la Plaza de Ferias.....	138
<b>Figura 101.</b>	Parte baja del escalón antrópico de la plaza de Ferias.....	139



<b>Figura 102.</b>	Edificaciones en borde del Escalón de Santa Teresita, en condiciones de amenaza por movimiento de remoción en masa. ....	140
<b>Figura 103.</b>	Mapa de Unidades Geomorfológicas del área Urbana de Vélez (Plano U-07). ....	142
<b>Figura 104.</b>	Mapa de morfodinámica del Casco Urbano de Vélez (Plano U-08). ....	143
<b>Figura 105.</b>	Mapa de Susceptibilidad Geomorfológica del área Urbana de Vélez (Plano U-09). 145	145
<b>Figura 106.</b>	Área de estudio urbana, de expansión urbana y suburbana. Casco urbano de Vélez. 147	147
<b>Figura 107.</b>	Área de estudio urbana, de expansión urbana y suburbana. Centro poblado de Palo Blanco. 148	148
<b>Figura 108.</b>	Área de estudio urbana, de expansión urbana y suburbana. Centro poblado Gualilo. 148	148
<b>Figura 109.</b>	Área de estudio urbana, de expansión urbana y suburbana. Centro poblado Los Guayabos. ....	149
<b>Figura 110.</b>	Identificación de las unidades de uso y cobertura del suelo sobre las imágenes UAV. 153	153
<b>Figura 111.</b>	Mapa preliminar de uso y cobertura del suelo. ....	154
<b>Figura 112.</b>	Localización de algunos puntos de control utilizados para la verificación en campo de las coberturas asignadas. ....	155
<b>Figura 113.</b>	Detección y corrección de errores topológicos en el shape de uso y cobertura del suelo para la obtención del producto final. ....	157
<b>Figura 114.</b>	Delimitación de la unidad de cobertura 1.1.1 sobre imagen UAV. ....	158
<b>Figura 115.</b>	Delimitación de la unidad de cobertura 1.1.2 sobre imagen UAV. ....	159
<b>Figura 116.</b>	Delimitación de vías sobre imagen UAV. ....	160
<b>Figura 117.</b>	Delimitación de caminos sobre imagen UAV. ....	160
<b>Figura 118.</b>	Delimitación de la unidad 1.4.1.1 sobre imagen UAV. ....	162
<b>Figura 119.</b>	Delimitación de la unidad de cobertura 1.4.2.2 sobre imagen UAV. ....	163
<b>Figura 120.</b>	Cultivos de maíz observados en el área de estudio, vista hacia al norte sobre la vía a Los Guayabos - Barbosa. ....	164
<b>Figura 121.</b>	Cultivos de frijol observados en el área de estudio, vista hacia al noroeste sobre la vía a Chipatá. ....	165
<b>Figura 122.</b>	Cultivos de yuca observados en el área de estudio, vista hacia al noroeste sobre la vía a Chipatá. ....	166
<b>Figura 123.</b>	Cultivos de plátano en asociación con café ubicados en proximidad de las viviendas. Vereda la Capilla. Vía a Guaratá. ....	168
<b>Figura 124.</b>	Delimitación de la unidad pastos limpios (2.3.1) sobre imagen UAV. ....	170
<b>Figura 125.</b>	Pastos limpios en asociación con vegetación secundaria baja y bosque fragmentado con vegetación secundaria. Vista hacia el norte, vía a Chipatá. ....	170
<b>Figura 126.</b>	Delimitación de la unidad pastos arbolados (2.3.2) sobre imagen UAV. ....	171
<b>Figura 127.</b>	Pastos enmalezados en asociación con vegetación secundaria alta (al fondo a la izquierda). Vereda Tuvabita. Detrás de la cárcel. ....	172
<b>Figura 128.</b>	Delimitación de la unidad mosaico de pastos y cultivos (2.4.2) sobre imagen UAV. 173	173
<b>Figura 129.</b>	Delimitación de la unidad mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales (2.4.3) sobre imagen UAV. ....	174
<b>Figura 130.</b>	Delimitación de la unidad mosaico de pastos con espacios naturales (2.4.4) sobre imagen UAV. ....	175
<b>Figura 131.</b>	Delimitación de la unidad mosaico de cultivos con espacios naturales (2.4.5) sobre imagen UAV. ....	176
<b>Figura 132.</b>	Clasificación de los bosques adoptada por la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. 178	178



<b>Figura 133.</b>	Delimitación del bosque fragmentado con vegetación secundaria sobre imagen UAV.	180
<b>Figura 134.</b>	Delimitación de la vegetación secundaria alta sobre imagen UAV.	183
<b>Figura 135.</b>	Delimitación de la vegetación secundaria baja sobre imagen UAV.	184
<b>Figura 136.</b>	Delimitación de terracetos y patas de vaca sobre imagen UAV.	185
<b>Figura 137.</b>	Delimitación de zonas quemadas sobre imagen UAV.	186
<b>Figura 138.</b>	Delimitación de cuerpos de agua sobre imagen UAV.	187
<b>Figura 139.</b>	Mapa de Uso y Cobertura del suelo, casco urbano de Vélez (Plano U-10).	190
<b>Figura 140.</b>	Mapa de uso y cobertura del suelo del centro poblado Gualilo.	193
<b>Figura 141.</b>	Mapa de uso y cobertura del suelo del centro poblado Palo Blanco.	196
<b>Figura 142.</b>	Mapa de uso y cobertura del suelo del centro poblado Los Guayabos.	199
<b>Figura 143.</b>	Esquema metodología empleada.	202
<b>Figura 144.</b>	Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa por uso y cobertura del suelo, casco urbano de Vélez (Plano U-11).	213
<b>Figura 145.</b>	Mapa de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, centro poblado Gualilo.	214
<b>Figura 146.</b>	Mapa de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, centro poblado Palo Blanco.	215
<b>Figura 147.</b>	Mapa de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, centro poblado Los Guayabos.	216
<b>Figura 148.</b>	Definición de unidades hidrológicas en la zona urbana de Vélez (Plano U-12).	220
<b>Figura 149.</b>	Delimitación del rectángulo de las cuencas en la zona urbana del Municipio de Vélez.	226
<b>Figura 150.</b>	Relieve de la cuenca.	230
<b>Figura 151.</b>	Clasificación de los tributarios de una cuenca.	233
<b>Figura 152.</b>	Precipitación total acumulada de la estación meteorológica La Granja.	236
<b>Figura 153.</b>	Precipitación MEDIA MENSUAL de la zona urbana para el municipio de Vélez.	237
<b>Figura 154.</b>	Lluvias máximas acumuladas en 24 horas de la zona urbana para el municipio de Vélez.	238
<b>Figura 155.</b>	Distribución temporal de la lluvia.	240
<b>Figura 156.</b>	Temperatura media anual.	241
<b>Figura 157.</b>	Temperatura media mensual multianual.	242
<b>Figura 158.</b>	Temperatura máxima anual para la estación La Granja.	242
<b>Figura 159.</b>	Temperatura máxima mensual registrada para la estación La Granja.	243
<b>Figura 160.</b>	Evaporación total mensual multianual para la estación La Granja.	243
<b>Figura 161.</b>	Evaporación media mensual para la estación La Granja.	244
<b>Figura 162.</b>	Humedad relativa media multianual para la estación La Granja.	245
<b>Figura 163.</b>	Humedad relativa mensual multianual para la estación La Granja.	245
<b>Figura 164.</b>	Brillo solar multianual para la estación La Granja.	246
<b>Figura 165.</b>	Brillo solar medio mensual para la estación La Granja.	246
<b>Figura 166.</b>	Comparación de Precipitación vs evaporación.	248
<b>Figura 167.</b>	Unidades hidrológicas determinadas (Plano U-12).	254
<b>Figura 168.</b>	Modelo digital de elevación para las Unidades hidrológicas urbanas (Plano U-14).	255
<b>Figura 169.</b>	Hidrograma para la Quebrada Las Flores.	258
<b>Figura 170.</b>	Hidrograma para la confluencia de las quebradas Palenque Alto y las Lajitas.	258
<b>Figura 171.</b>	Aguas subterráneas bajo el casco urbano de Vélez.	260
<b>Figura 172.</b>	Fotografías de cada pozo.	262
<b>Figura 173.</b>	Detalles internos y externos de los pozos de gran diámetro encontrados dentro del casco urbano.	262
<b>Figura 174.</b>	Curva Patrón para ensayos de Bombeo en Pozos de Gran diámetro.	264
<b>Figura 175.</b>	Superposición de los datos de campo con la curva Patrón.	265



<b>Figura 176.</b>	Piezómetros para el monitoreo de aguas subterráneas. ....	268
<b>Figura 177.</b>	Dispositivo construido para el slug test y Baro Diver. ....	268
<b>Figura 178.</b>	Datos de campo tomados con el Diver sin compensar. ....	269
<b>Figura 179.</b>	Materiales extraídos de los sondeos geotécnicos, obsérvese la fractura plana en la última fotografía. ....	270
<b>Figura 180.</b>	Mapa piezométrico del casco urbano de Vélez (Plano U-17). ....	272
<b>Figura 181.</b>	Mapa de susceptibilidad del casco urbano de Vélez. Hidrogeología (Plano U-18). ....	274
<b>Figura 182.</b>	Mapa de variable para el cálculo de susceptibilidad a procesos de remoción en masa. ....	275
<b>Figura 183.</b>	Mapa de susceptibilidad del casco urbano de Vélez (Plano U-19). ....	276



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Valoración de los rangos de pendientes para el área de estudio. ....	21
<b>Tabla 2.</b>	Formaciones superficiales identificadas en el área urbana de Vélez, con sus atributos y el factor litológico (Li) asignado. ....	55
<b>Tabla 3.</b>	Muestras analizadas informe sedimentológico. ....	60
<b>Tabla 4.</b>	Muestras analizadas. ....	62
<b>Tabla 5.</b>	Descripción sedimentológica muestra EG2. ....	66
<b>Tabla 6.</b>	Descripción composicional. ....	67
<b>Tabla 7.</b>	Unidades Geomorfológicas. ....	144
<b>Tabla 8.</b>	Áreas de estudio urbanas, de expansión urbana y suburbanas. ....	150
<b>Tabla 9.</b>	Unidades de uso y cobertura del suelo empleadas para el estudio. Área urbana, de expansión urbana y suburbana. ....	151
<b>Tabla 10.</b>	Unidades de uso y cobertura del suelo empleadas para el estudio. Área urbana, de expansión urbana y suburbana (continuación). ....	152
<b>Tabla 11.</b>	Área por unidad de uso y cobertura del suelo. Casco urbano de Vélez. ....	189
<b>Tabla 12.</b>	Área por unidad de uso y cobertura del suelo, Gualilo. ....	192
<b>Tabla 13.</b>	Área por unidad de uso y cobertura del suelo, Palo Blanco. ....	195
<b>Tabla 14.</b>	Área por unidad de uso y cobertura del suelo, Los Guayabos. ....	198
<b>Tabla 15.</b>	Coefficientes de cultivos adaptados de la FAO. ....	205
<b>Tabla 16.</b>	Calificación de las coberturas para la variable evapotranspiración. ....	206
<b>Tabla 17.</b>	Calificación de las coberturas para la variable drenaje profundo. ....	207
<b>Tabla 18.</b>	Calificación de las coberturas para la variable profundidad del sistema radicular. ....	209
<b>Tabla 19.</b>	Calificación de las coberturas para la variable estratos de la cobertura. ....	210
<b>Tabla 20.</b>	Matriz de calificación de las unidades de cobertura. ....	212
<b>Tabla 21.</b>	Escala recomendadas de trabajo para diferentes cuencas. ....	217
<b>Tabla 22.</b>	Clasificación de una Cuenca de acuerdo a su área. ....	218
<b>Tabla 23.</b>	Cuencas definidas para la Zona Urbana del Municipio de Vélez. ....	219
<b>Tabla 24.</b>	Cuencas definidas para la Zona Urbana del Municipio de Vélez (continuación). ....	220
<b>Tabla 25.</b>	Perímetro definido para las cuencas en la zona urbana del Municipio de Vélez. ....	221
<b>Tabla 26.</b>	Longitud de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez. ....	222
<b>Tabla 27.</b>	Ancho promedio de las Cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez. ....	222
<b>Tabla 28.</b>	Factor de forma de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez. ....	223
<b>Tabla 29.</b>	Clases de forma de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez. ....	224
<b>Tabla 30.</b>	Coefficiente de compacidad (Kc) de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez. ....	224
<b>Tabla 31.</b>	Índice de alargamiento de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez. ....	225
<b>Tabla 32.</b>	Índice de homogeneidad de las cuencas en la zona urbana del Municipio de Vélez. ....	226
<b>Tabla 33.</b>	Índice de asimetría de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez. ....	227
<b>Tabla 34.</b>	Elevación Media de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez. ....	228
<b>Tabla 35.</b>	Clasificación descriptiva de pendientes de la Zona Urbana del Municipio de Vélez. ....	229
<b>Tabla 36.</b>	Pendiente media de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez. ....	230
<b>Tabla 37.</b>	Coefficiente de masividad de Martonne de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez. ....	231
<b>Tabla 38.</b>	Coefficiente orográfico de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez. ....	231
<b>Tabla 39.</b>	Desnivel absoluto de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez. ....	232
<b>Tabla 40.</b>	Densidad de drenaje de las cuencas en la zona urbana del Municipio de Vélez. ....	234
<b>Tabla 41.</b>	Frecuencia de Talwegs de las cuencas en la zona urbana del Municipio de Vélez. ....	235
<b>Tabla 42.</b>	Precipitaciones medias para la estación meteorológica La Granja. ....	236



<b>Tabla 43.</b>	Precipitación máxima anual para la estación meteorológica La Granja. ....	238
<b>Tabla 44.</b>	Predicción de la precipitación máxima en 24 horas para diferentes Tr.....	239
<b>Tabla 45.</b>	Porcentaje de influencia de la estación La Granja. ....	240
<b>Tabla 46.</b>	Cálculo de evapotranspiración potencial por diferentes autores .....	247
<b>Tabla 47.</b>	Precipitación media acumulada en mm/mes para la estación meteorológica La Granja. 250	
<b>Tabla 48.</b>	Caudales medios en Lt/s. ....	250
<b>Tabla 49.</b>	Evaporación media para la estación meteorológica La Granja. ....	251
<b>Tabla 50.</b>	Evapotranspiración para la estación meteorológica La Granja. ....	251
<b>Tabla 51.</b>	Balance hídrico para valores medios mensuales.....	251
<b>Tabla 52.</b>	Balance hídrico para valores medios mensuales (continuación).....	252
<b>Tabla 53.</b>	Variables climatológicas del balance hídrico.....	252
<b>Tabla 54.</b>	Tiempo de concentración de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez. 256	
<b>Tabla 55.</b>	Distribución temporal de la lluvia para la magnitud proyectada.....	257
<b>Tabla 56.</b>	Caudales picos aportados por el área drenada. ....	259
<b>Tabla 57.</b>	Caudales transportados por cada corriente superficial.....	259
<b>Tabla 58.</b>	Datos Geométricos equivalentes de campo correspondientes a cada pozo. ....	263
<b>Tabla 59.</b>	Datos del bombeo para el Pozo número 2.....	264
<b>Tabla 60.</b>	Resultados para Pozos de gran diámetro.....	267
<b>Tabla 61.</b>	Sondeos ensayados mediante la prueba SLUG Test y resultados obtenidos. ....	269
<b>Tabla 62.</b>	Sondeos ensayados mediante la prueba SLUG Test y resultados obtenidos (continuación).....	270
<b>Tabla 63.</b>	Rangos de Profundidad de N.P.....	273
<b>Tabla 64.</b>	Pesos de los valores para el cálculo de susceptibilidad.....	275



## 1. INTRODUCCIÓN

La susceptibilidad se fundamenta en el análisis de cada una de las variables que intervienen en la generación o preparación de los movimientos en masa (o fenómenos de remoción en masa) de los terrenos en estudio, sin tener en cuenta los eventos detonantes (estado del tiempo, sismos, etc.).

Estas variables, en el caso particular del casco urbano de Vélez, son: la geología, que busca definir tanto las unidades litológicas como las formaciones superficiales, destacando las más susceptibles a la erosión o remoción en masa; la geomorfología, que permite detectar procesos geomorfológicos activos e inactivos y sus posibles efectos, con el inventario de sitios inestables; la pendiente del terreno, muy importante cuando se presentan escarpes, laderas y taludes; la hidrogeología, fundamental en zonas de altas precipitaciones por los flujos superficiales y subterráneos; las unidades de uso y cobertura de los suelos, factor muy importante como inhibidor o facilitador de los procesos de erosión hídrica (por el anclaje natural que ejercen los sistemas radiculares y la evapotranspiración) o la infiltración en zonas que, como las del presente estudio, poseen muy altas concentraciones de humedad.

En el presente Volumen II se describe la línea base físico-biótica y se establecen los pesos (ponderación de las citadas variables) que cada una de ellas tienen para la obtención de los mapas de susceptibilidad en ambiente SIG, usando métodos heurísticos (cualificación por expertos) del casco urbano de Vélez, como paso previo a la evaluación y la zonificación de la amenaza por movimientos en masa.



## 2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

La metodología seleccionada para el estudio de susceptibilidad y la zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa en el municipio de Vélez se basa en un Método Heurístico denominado "Combinación de Factores" (Carrara et al., 1995) o "Ponderación de Parámetros" (GEMMA, 2007), e igualmente retoma otros trabajos análogos de Wang (1994; en INIGEMM, 2013), Soeters & Westen (1996; en INIGEMM, 2013) y PREDECAN (2009).

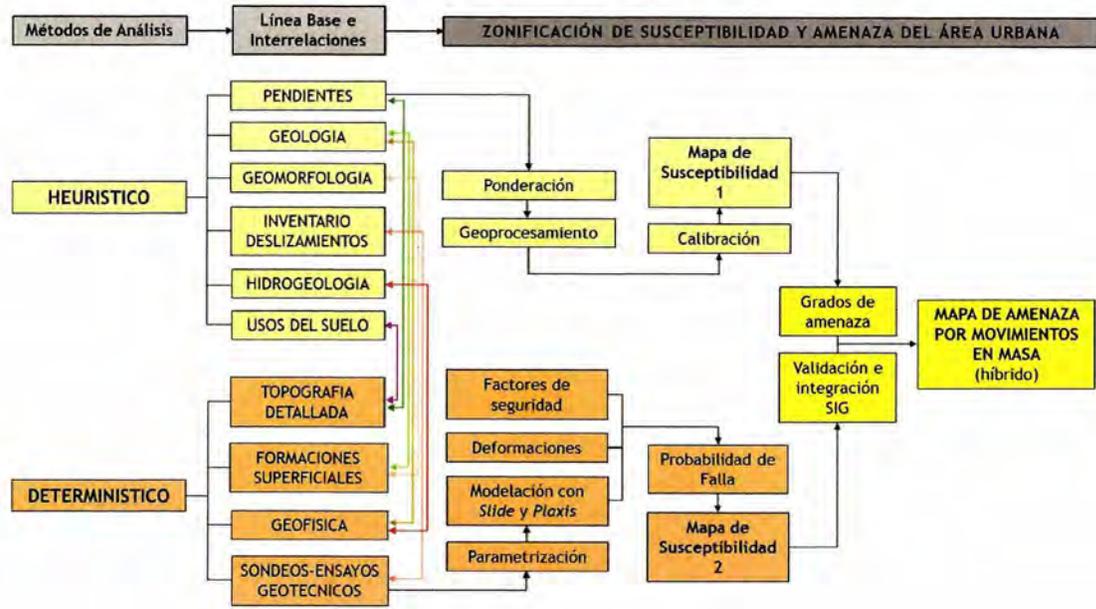
Este método utiliza factores de análisis (pendientes, litología y geomorfología), los cuales tienen una importancia relativa para la determinación del grado de susceptibilidad en una determinada zona. La selección y ponderación de los factores depende mucho de la experiencia de los técnicos a cargo del proyecto.

Se procedió entonces a realizar una zonificación a partir de combinación de variables que se puedan representar en la aparición de nuevos y/o en la activación de los movimientos en masa presentes en los terrenos en estudio. Para la obtención del mapa de amenaza final se utiliza un híbrido heurístico- determinístico, como se muestra en la figura 1, cuya descripción y análisis será objeto del Volumen III.

Para la zonificación de susceptibilidad en el área Urbana de Vélez fueron propuestos cinco factores de análisis, por el equipo de especialistas, son: Pendientes, formaciones superficiales, geomorfología (unidades geomorfológicas), hidrogeología y usos del suelo.

En los siguientes capítulos de este informe se presentan los estudios básicos que se requieren para definir las variables y se hace una descripción general de las especificaciones técnicas a tener en cuenta para la realización de los estudios de susceptibilidad y zonificación de amenaza por los procesos geomorfológicos o de la geodinámica exógena en consideración (deslizamientos, flujos, desprendimientos, etc.).

**Figura 1. Metodología para la evaluación de susceptibilidad y amenaza híbrida por Movimientos en Masa.**



Fuente: Elaboración propia



### 3. ÁREA DE ESTUDIO

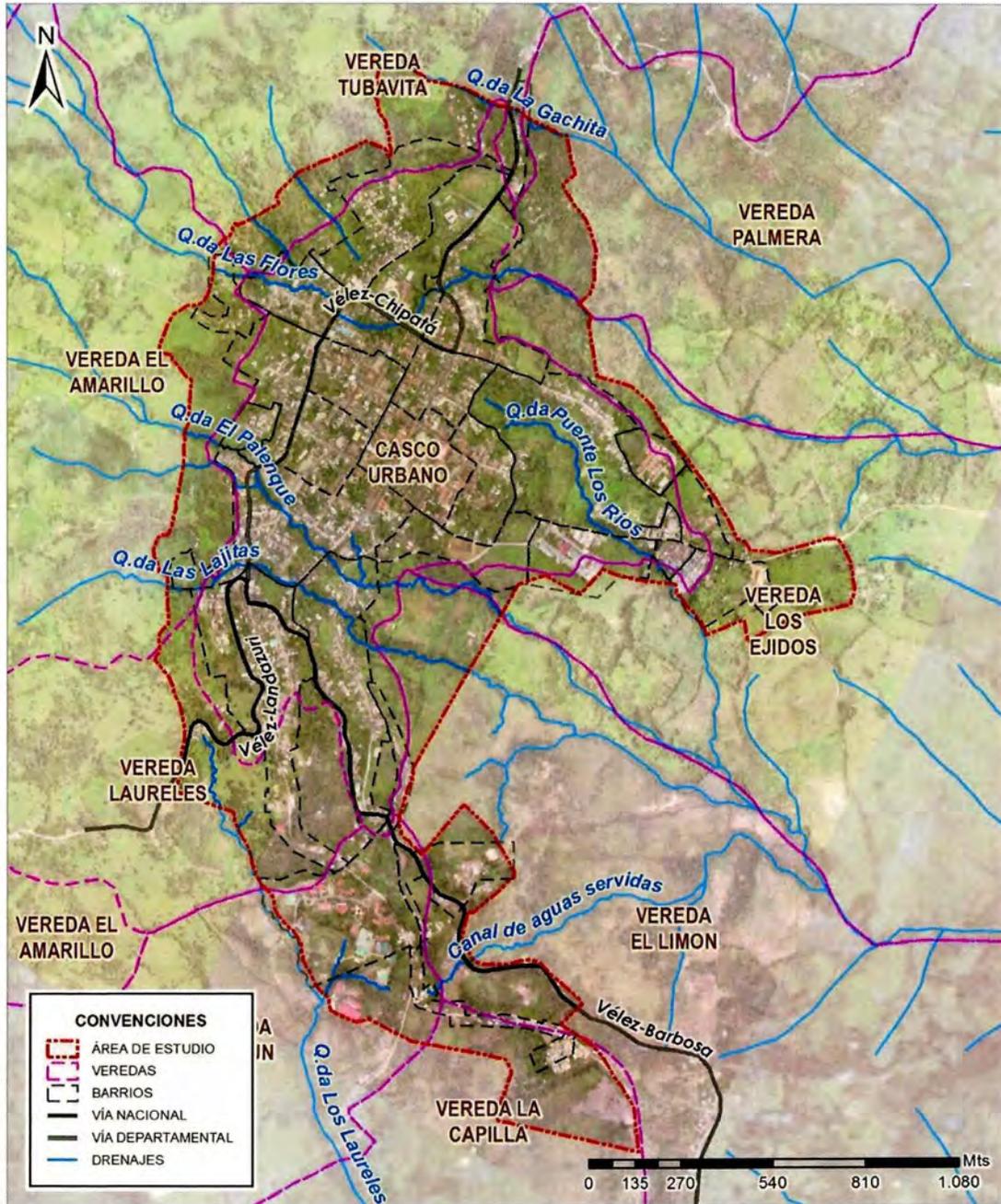
El centro poblado de Alto Jordán, se ubica en la porción meridional del territorio municipal, sobre la vía nacional que conduce al municipio de Landázuri al oeste y Barbosa al este, entre las veredas Tubavita al norte, Palmera y Los Ejidos al este, El Limón y La Capilla al sur, Laureles y El Amarillo al oeste.

El área de interés del presente estudio, tiene una extensión de aproximadamente 290 hectáreas y se ubica los 1900 y 2300 msnm.

Está delimitada por las siguientes coordenadas (Magna Sirgas Colombia – Bogotá):

- 1157787 m N al norte;
- 1046184 m W al este;
- 1154575 m N al sur;
- 1044118 m W al oeste.

Figura 2. Delimitación del área de estudio para el casco urbano de Vélez.



Fuente: Elaboración Propia



#### 4. PENDIENTES

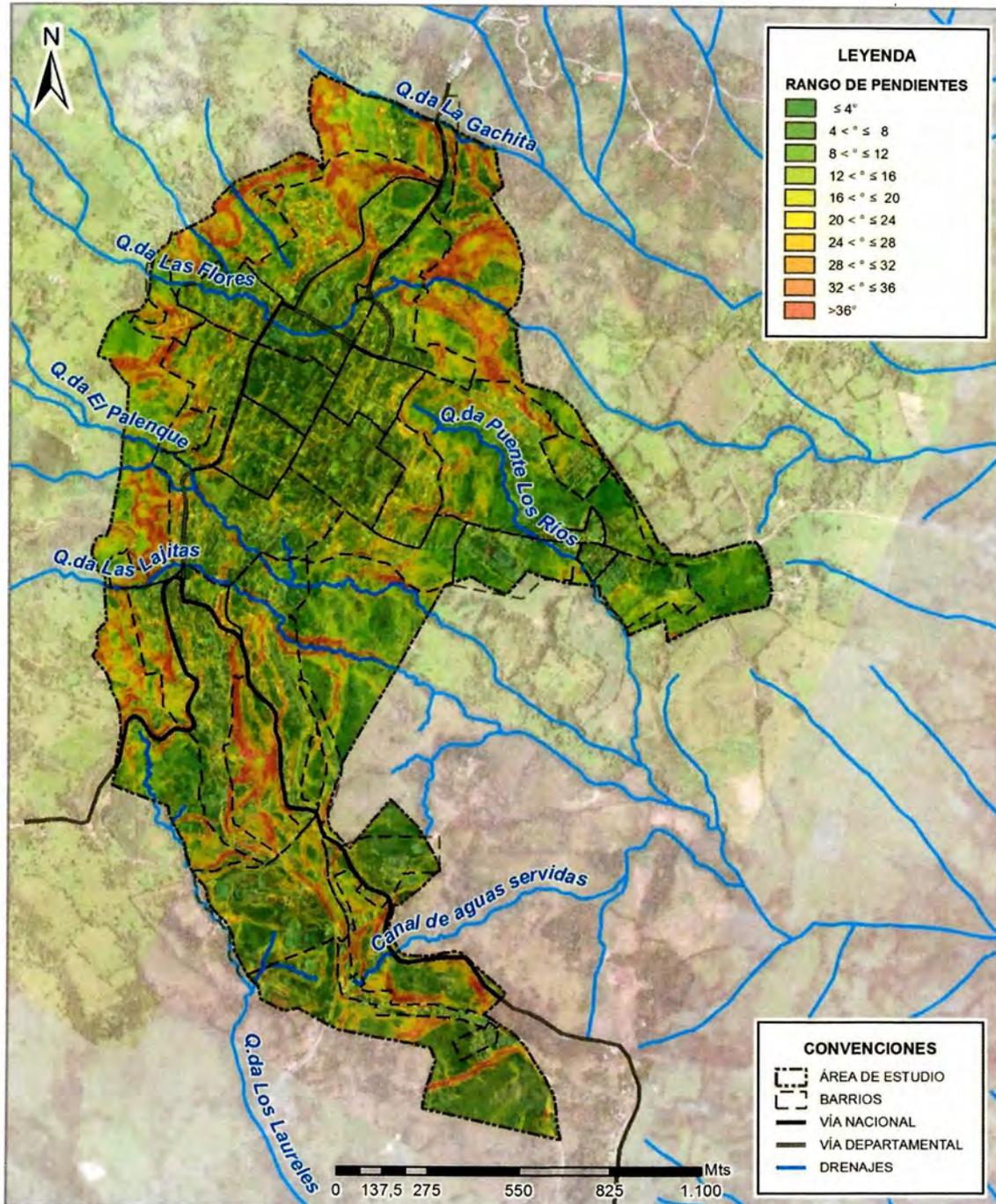
El factor pendiente del terreno se representa con el Mapa de Pendientes, elaborado a partir de la información topográfica digital del IGAC a escala 1:2000 y complementada con las curvas los datos del Scanner Laser y las Imágenes del UAV. Las clases de pendiente fueron determinadas a partir de los rangos propuestos por Van Zuidam (1985); para el caso particular del área urbana de Vélez se tienen los rangos y valoraciones entre 1 y 5 como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Valoración de los rangos de pendientes para el área de estudio.

	RANGO DE PENDIENTES [°]	VALORACIÓN
	0-4	1
	4-8	2
	8-16	3
	16-35	4
	>35	5

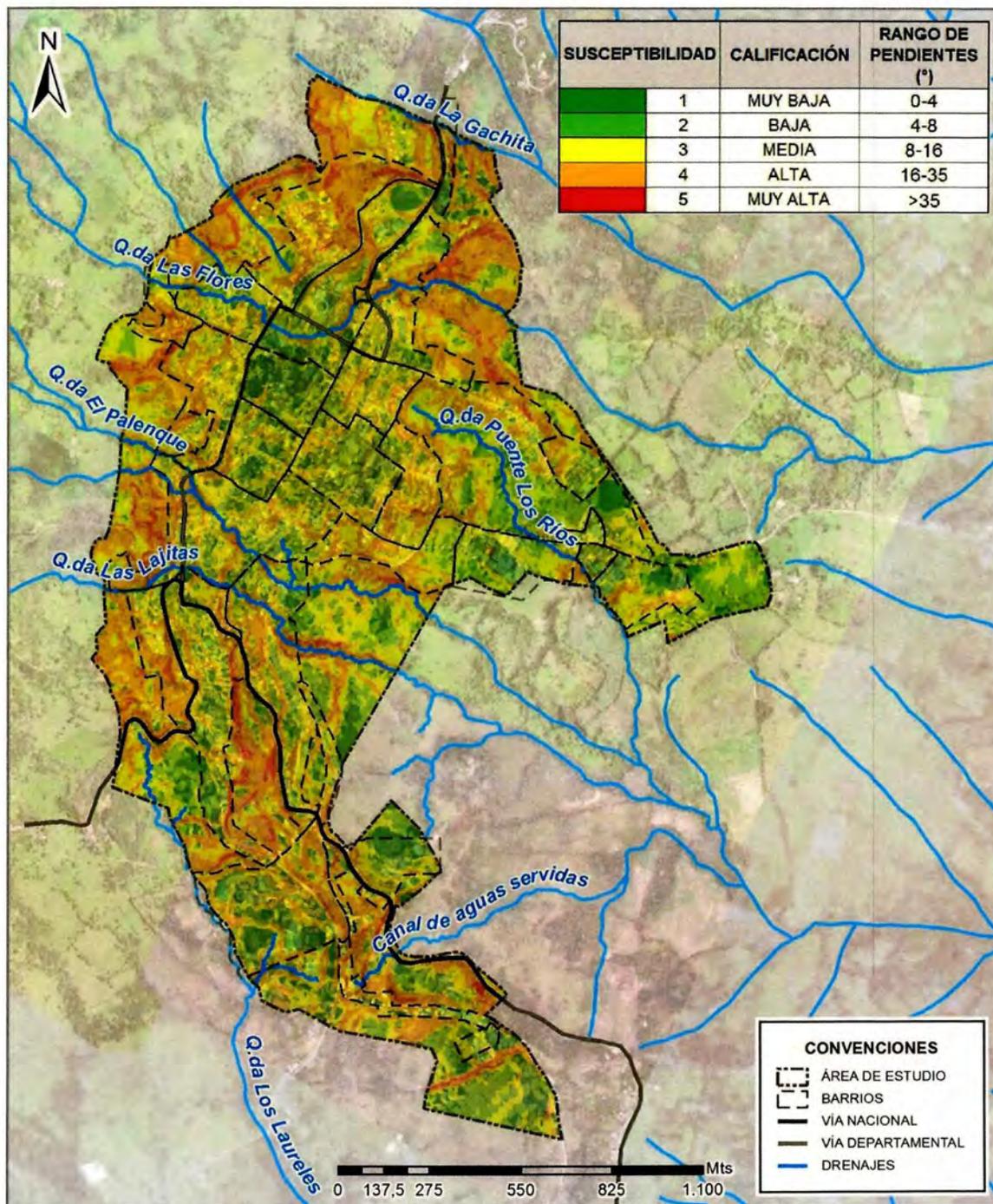
Fuente: Elaboración Propia

Figura 3. Mapa de pendientes del casco urbano de Vélez (Plano U-02).



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. Mapa de susceptibilidad por pendientes del casco urbano de Vélez (Plano U-03).



Fuente: Elaboración Propia

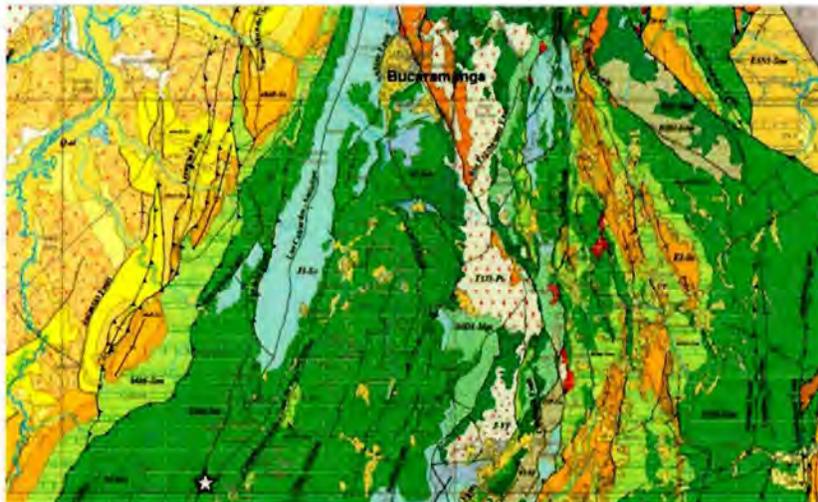
## 5. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

### 5.1. GEOLOGIA REGIONAL

#### 5.1.1. Marco Geotectónico

De acuerdo a Reyes y Álvarez (2007), Santander es representativo de la zona de confluencia de las placas Caribe y suramericana, conocida como bloque Andes del Norte o bloque Norandino según varios autores (Kellogg, 1984; Case et al., 1984, Kellogg et al., 1985; James, 1985; Boinet, 1985; en Royero y Clavijo, 2001). De acuerdo con el mapa de terrenos geológicos de Colombia (Etayo et al., 1983; en Royero y Clavijo, 2001), la zona de estudio forma parte del “supraterrano Cretácico de la Cordillera Oriental”, y según el esquema tectónico de Clavijo et al. (1993; en Royero y Clavijo, 2001), pertenece a la provincia de la Cordillera Oriental. Así, el municipio de Vélez se ubica (ver figura 3) dentro de un sistema orogénico que bordea por el noroccidente al cratón Guayanés (Reyes, 2012).

**Figura 5.** Mapa geoestructural de la parte noroccidental de la Cordillera Oriental. Vélez se ubica abajo, en la estrella blanca, sobre rocas del Cretácico; Bucaramanga, se encuentra arriba al centro.



Fuente: Modificado de Gómez, et al. (2007).

Regionalmente se enmarca en una cadena plegada cabalgante, de vergencia occidental y conformada principalmente por rocas de ambientes marinos (Cretácico), aunque más al oeste afloran sedimentitas continentales del Paleógeno, unidades volcanoclásticas del Neógeno, junto a diversos depósitos del Cuaternario, de gran sedimentación actual. Todas las unidades del Cretácico, de color verde en la figura 5, conforman un gran pliegue sinforma, afectado por fallas de rumbo y cabalgamiento (Reyes, 2012).



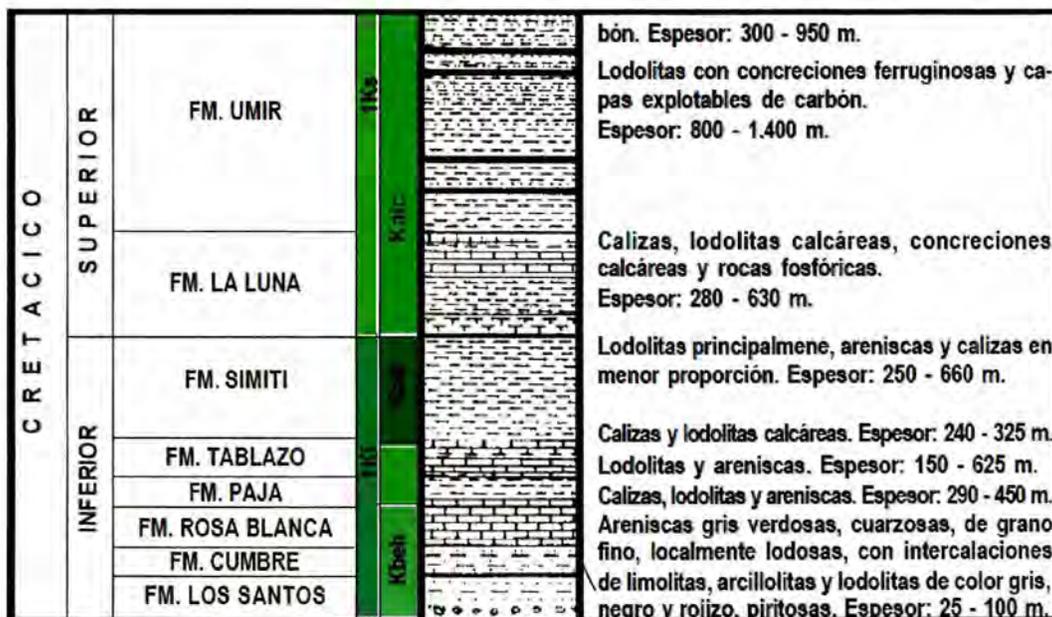
La alta actividad sísmica en el departamento de Santander, en términos generales, es superficial a intermedia. La región nororiental se ve especialmente influenciada por la presencia de los sistemas de fallas geológicas de Bucaramanga, Suárez y Suratá, más al occidente por el sistema de fallas de la Salina, límite oriental del valle del Magdalena (Reyes y Alvarez, 2007), mientras que más al sur –de interés para Vélez– principalmente por los dos últimos sistemas.

### 5.1.2. Estratigrafía general

Conforme Royero y Clavijo (2003), Pulido (1985), Hincapié y Veloza (2009), Ulloa y Rodríguez (INGEOMINAS, 1984), en las regiones central a sur de Santander afloran unidades del Mesozoico (especialmente Cretácico) y Cenozoico (Paleógeno, Neógeno y Cuaternario), descritas enseguida desde sus autores originales, con la litología regional a local, geometría, ambiente sedimentario y distribución espacial.

El Cretácico, de amplia exposición en el municipio de estudio y sintetizado en la columna litológica general de la figura 6, lo representan las siguientes Formaciones: Rosablanca, Paja, Tablazo, Simití, la Luna y Umir. Como se analizó de las Planchas 170 Vélez y 150 Cimitarra del INGEOMINAS, además de los trabajos de campo, tales unidades litoestratigráficas son sedimentarias y de origen marino, cartografiadas con colores verdosos (ver figura 6).

Figura 6. Columna estratigráfica generalizada del Cretácico, al sur de Santander.

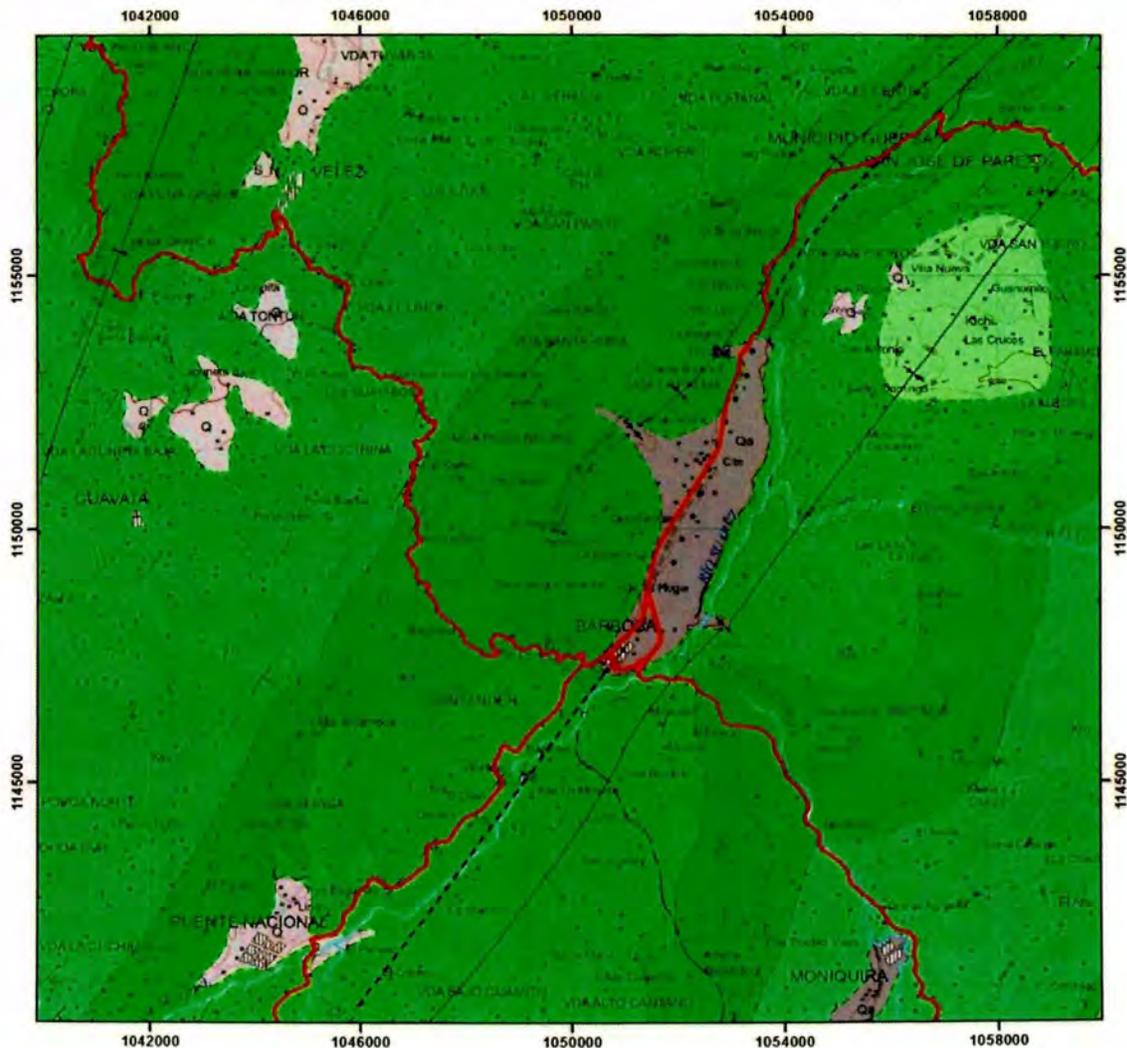


Fuente: Modificado de Royero y Clavijo, 2001.

Para Vélez este periodo de la era Mesozoica lo representan predominantemente la Formación Paja (Kip) y parte de la Formación Tablazo (Kit), las cuales constan en su mayoría de lodolitas laminadas (lutitas o shales) y calizas grises, respectivamente, y están cubiertas discordantemente por depósitos coluviales y aluviales del Cuaternario. Específicamente sobre la unidad Kip se fundaron las áreas urbanas de Vélez y Guavatá, y sobre la unidad Kit los municipios de Barbosa y Güepesa (ver figura 7).

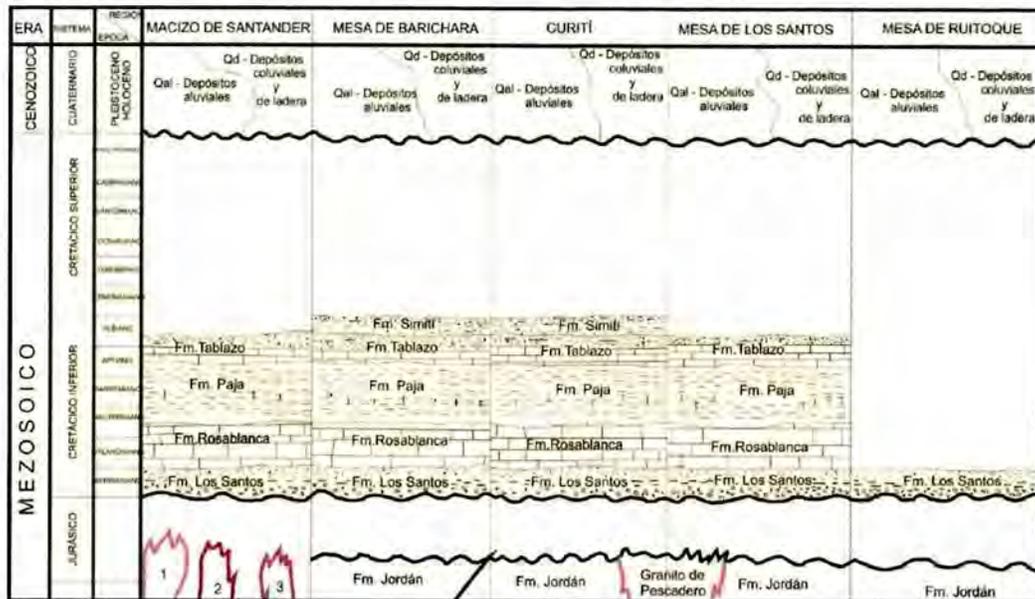
En la figura 8 se observa la distribución y la correlación cronoestratigráfica de las mismas.

**Figura 7.** Mapa geológico del municipio de Vélez y alrededores. El óvalo negro ubica su área urbana, fundada sobre la Formación Paja (Kip), con amplio patrón de afloramiento orientado al NE. Las carreteras principales se resaltaron en líneas rojas.



Fuente: Modificado de INGEOMINAS (1984).

Figura 8. Correlación cronoestratigráfica de las formaciones del Cretácico inferior.



Fuente: Modificado de Morales (2010).

A continuación se describen las características litológicas de las formaciones encontradas en el municipio de Vélez, iniciando por las más antiguas.

#### 5.1.2.1. Formación Rosablanca (Kir O K1r)

Fue descrita originalmente por Wheeler (1939) y cartografiada por Julivert (1958) en toda la Región de Mesas y Cuestas santandereanas. Zamarréño de Julivert (1963) estudió en detalle la estratigrafía de la Formación Rosablanca, en una sucesión de 318 m de potencia ubicada en el cañón del río Sogamoso, al occidente de la Mesa de Los Santos (modificado de: Hincapié y Veloza, 2009).

Se encuentra compuesta en su parte inferior por capas de caliza y yeso con oolitos, ostrácodos y dolomias; hacia la parte superior está constituida por calizas fosilíferas, masivas y potentes, areniscas y lodolitas calcáreas.

En la parte inferior presenta depósitos evaporíticos como yeso y polihalita, que indican una hipersalinidad y tranquilidad en las condiciones de depositación. El resto de la secuencia se depositó en un medio marino somero en condiciones neríticas (Hincapié y Veloza, 2009).

La Formación Rosablanca aflora a nivel rural de Vélez en las veredas San Benito, Rionegro Cascajero, Visina, Llanadas y al oriente del municipio de Bolívar, como una franja alargada N-S de calizas. Allí, en la zona de estudio, consta de alternancia de calizas micríticas, de color gris fresco y pardo-amarillento meteorizado, lumaquéllicas (con bivalvos, figura 9(a)) y

muy duras, areniscas de grano medio a fino, en matriz lodosa calcárea grisácea, consolidadas, y lodolitas pardo-grisáceas a negras, calcáreas, masivas a laminadas, en capas delgadas a muy gruesas ( $\geq 1$  m de espesor), según la figura 9(b).

**Figura 9.** (a) Detalle de calizas fosilíferas y escarpes rocosos (b) de la Formación Rosablanca (Kir), evidentes en el tramo vial del puente Eduardo Santos hasta el río Fonce (hacia Berlín).



Fuente: Elaboración propia

#### 5.1.2.2. Formación Paja (Kip O K1p)

Su nombre proviene de Julivert (1958), asociado a la quebrada La Paja (afluente por la margen izquierda del río Sogamoso), 1 km aguas arriba del puente el Tablazo. Se trata de una sucesión de shales<sup>1</sup> grises (Figura 10(a)), negros a pardos, fosilíferos, ligeramente calcáreos y a veces micáceos; el segmento inferior de esta formación contiene nódulos y concreciones calcáreas, septarias (Figura 10(b)) y venas de calcita. El espesor de la formación varía entre 125 m y 625 m en la sección tipo (Adaptado de: Reyes, 2013); y según Royero y Clavijio (2003) entre 150 y 625 m.

La Formación Paja ha sido cartografiada por toda la región de Mesas y Cuestas (como la de los Santos, Barichara, Socorro, etc.), más al norte de la zona de estudio, en donde frecuentemente es yesífera. Allí se expresa a lo largo del cañón de los ríos Suárez y Fonce; posee además pendientes suaves, con morfología de laderas onduladas, aunque localmente se encuentran pequeños escarpes, debido a la presencia de niveles de lodos calcáreos o margas (Reyes, 2013).

La figura 6 muestra la distribución y la correlación cronoestratigráfica de la unidad en estas regiones.

<sup>1</sup> En el presente informe usamos el término "lutitas" como sinónimo de la palabra inglesa shales, para describir estas rocas sedimentarias lodosas (con tamaños de grano entre limo y arcilla), que además poseen laminación y son fisibles (o físiles; es decir, que se rompen siguiendo tales estructuras planares primarias).

**Figura 10.** Detalle de la Formación Paja: (a) Izquierda, lutitas o shales observables en la vía hacia el municipio de Encino; (b) derecha, concreciones septarias presentes en la parte baja del municipio de Galán, cerca de la confluencia entre los ríos Suárez y Fonce.



Fuente: Elaboración propia

En la planchas 170 y 150 de INGEOMINAS, la Formación Paja tiene una amplia distribución, ya que ocupa franjas alargadas de dirección NE, de hasta decena de kilómetros de ancho, representada básicamente por los núcleos de un buen número de estructuras regionales y locales que guardan dicha orientación (Álvarez y Bueno, 1994).

Hacia la base la Formación Paja se compone de capas de lodolitas fisiles negras calcáreas de 20 cm de espesor, con nódulos calcáreos, intercaladas con capas medias de margas, color gris oscuro y geometría tabular. Hacia el techo de esta unidad se observan capas muy gruesas de lodolitas fisiles negras y tonalidades rojizas por efecto de la meteorización de minerales de hierro, las cuales presentan láminas de yeso paralelas a la laminación y relleno de pequeñas fracturas, intercaladas con capas de margas de hasta 30 cm de espesor. En la parte superior hay nódulos ferruginosos, concreciones calcáreas y fósiles de bivalvos, moldes de amonitas y erizos de mar.

El contacto entre la Formación Paja y la infrayacente Formación Rosablanca (Kir) es neto y concordante, como se observa en las figura 11 (a) y (b). Aunque dentro de la zona de estudio no fue evidenciado dicho contacto.

### 5.1.2.3. Formación Tablazo (Kit O K1t)

Unidad litoestratigráfica descrita por Wheeler (1958), cuya localidad tipo se encuentra en el sitio Tablazo, en el puente sobre el río Sogamoso de la vía Bucaramanga - San Vicente.

**Figura 11.** Contacto estratigráfico entre la infrayacente unidad K1r (o Kir), conformada por calizas, y la unidad K1p (o Kip), eminentemente lutítica: (a) izquierda en el puente Eduardo Santos sobre el río Suárez; (b) derecha, en cantera de calizas de Curití.



Fuente: Elaboración propia

Está conformada por calizas grises a negras, fosilíferas, localmente glauconíticas y arcillosas de color negro, con niveles intercalados de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas (Figura 12), en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de areniscas grises, grano fino a medio, arcillosas, levemente calcáreas, en capas delgadas (Reyes, 2013).

**Figura 12.** Aspecto de caliza fosilífera identificada en la sección tipo: micrita gris con restos de braquiópodos reemplazados y fisuras rellenas con calcita blanquecina. Afloramiento sobre el puente el Tablazo, en la vía la Renta-San Vicente de Chucurí.



Fuente: Elaboración propia



Alvarez y Bueno (1994), en la parte urbana de Vélez, propusieron dividir esta formación en 7 unidades (o miembros), hecho que no es concordante con los observado en el presente estudio, dentro de las cuales se mencionan calizas, lodolitas calcáreas, areniscas y cuarzo-areniscas.

El ambiente de depósito parece corresponder a condiciones neríticas poco profundas. Tiene variaciones en el espesor: en la localidad tipo alcanza 186 m; y al norte de Bucaramanga alcanza 277 m (Ward, et al. 1973). En el área de Mesas y Cuestas su mayor espesor es de 374 m; Moreno y Sarmiento (2002; en Reyes, 2013) levantaron la sección estratigráfica en la carretera que del Municipio de Barichara conduce al centro poblado de Guane, que registró un espesor de 360 m; según Royero y Clavijio (2003) tiene una potencia de 240 a 325 m.

La Formación Tablazo corona los altos topográficos y cuchillas montañosas, en muchas ocasiones originando pendientes estructurales (Reyes, 2013). Conformar la cima montañosa occidental de Vélez, expuesta en las veredas los Amarillos y Peñas Blancas, constituyendo además el eje del sinclinal de Vélez y con muy buenos afloramientos en los taludes viales antes del centro poblado de Paloblanco y entre Gaitál y Gualilo.

Igualmente, el contacto entre las unidades Kip (infrayacente) y Kit es neto: está definido claramente por las terminación de las lutitas gris oscuras de la unidad Kip y el inicio de la presencia concordante de calizas (color meteorizado pardo-amarillento y fresco gris claro), en un estrato muy grueso, que luego se intercalan con sets delgados de lutitas negras y calizas en capas progresivamente de mayor espesor.

Este contraste de niveles blandos (lutitas de la Formación Paja) y de duros (calizas de la Formación Tablazo) origina taludes de corte más altos, escarpes y filos rocosos en varios sectores rurales de Vélez.

#### 5.1.2.4. Formación Simití (Kis O K1s)

En el techo está compuesta principalmente por areniscas de grano fino, ligeramente lodosas, de color gris y violáceo, bien compactas, bien calibradas y moderadamente cementadas, de estructura masiva y geometría tabular en capas gruesas y muy gruesas, hasta de 1.5 m de espesor. En estas capas se presentan huellas de fragmentos de bivalvos intercaladas con areniscas de grano medio, lodosas, de color amarillo a blanco, se observan colores rojizos por la intensa meteorización de la roca, en capas medias y gruesas de geometría tabular; capas de lodolitas arenosas de color gris claro, micáceas; y capas de arcillolitas arenosas, de color gris a violáceo, micáceas. Se presentan costras de hierro en las superficies de las capas y rellenando fracturas (Morales, 2010).

En la parte media de la Formación Simití, capas gruesas de lodolitas fisiles de color gris oscuro, de hasta 1 m de espesor, intercaladas con lodolitas arenosas, de color gris a violáceo y algunas capas medias tabulares de areniscas, de grano muy fino, de color crema, con espesores máximos de 20 cm.



Hacia la base la Formación Simití está compuesta por capas gruesas tabulares de areniscas de grano fino ligeramente lodosas de color crema a blanco, de hasta 80 cm de espesor, intercaladas con areniscas de grano muy fino calcáreas, de color crema oscuro, seguida de una sucesión de capas medias y gruesas, tabulares, de arenisca de grano fino, de color violáceo a gris, intercalados con lodolitas arenosas, ligeramente fisiles, de color gris (Morales, 2010).

Aflora en las siguientes veredas de Vélez: San Ignacio, San Pedro, Tagual, La Soledad, Altamira, Limoncito, Mantellina Baja, Recreo, Mantellina Alta, Palma, La Esperanza, Santa Rosa, Gualillo, Cuba, Salandas, Helida, Gaital. Consta de areniscas de grano muy fino a medio, en matriz limosa amarillenta, y limolitas arcillosas, grises, amarillentas a beige, caoliníticas y untuosas al tacto, con la laminación plano-paralela continua, meteorizadas y diaclasadas, en capas muy gruesas. Por la presencia de areniscas cementadas pueden originar pendiente estructural.

#### 5.1.2.5. Formación La Luna (Ksl O K2l)

Royero y Clavijo (2001) mencionan: Fue descrita por Garner (en JULIVERT, et al., 1968) y el nombre procede de la Quebrada La Luna al NW de Perijá, Zulia (Venezuela). En Colombia fue introducido el término por geólogos de la Caribbean Petroleum Company. La unidad está constituida por calizas gris oscuras, arcillosas, lutitas grises a negras, calcáreas, en capas delgadas, lutitas gris oscuras con delgadas intercalaciones de calizas arcillosas, concreciones de calizas con fósiles, que alcanzan más de dos metros de diámetro y capas delgadas de chert negro y también capas fosfáticas hacia la parte superior. En el Valle Medio del Magdalena la Formación La Luna se subdivide en tres miembros: el inferior Salada, el intermedio Pujamana y el superior Galembo. El ambiente de depositación es marino de aguas relativamente poco profundas, con poca ventilación en el fondo. El espesor varía entre 275 y 575 m.

Esta formación aflora en el municipio de Vélez en las veredas: Altamira, La Soledad, Limoncito, Mantenilla Alta, Mantenilla Baja, Recreo, San Ignacio, San Pedro, Tagual, constituyendo cuchillas alargadas y topes de cerros.

#### 5.1.3. Estructuras geológicas regionales

En inmediaciones de Vélez al parecer no se presentan fallas geológicas, de acuerdo a la información secundaria y a las evaluaciones superficiales llevadas a cabo, aunque sí hay control estructural relacionado con plegamientos a consecuencia del estilo compresivo de los Andes del Norte.

Se exceptúa el sistema de fallas del río Suárez (SFRSU), que pasa muy cerca a Barbosa, y que por su importancia se describen como sigue.

#### 5.1.4. Sistema de fallas del río Suárez

Según Reyes y Álvarez (2007) el sistema FRSU se extiende por una longitud de unos 170 km desde Barbosa, al sur, hasta el Sistema de Fallas de Bucaramanga, 5 km al norte de la capital santandereana. Su trazo tiene una dirección N20°E y N25°E, con inclinación al occidente y sigue el curso de los ríos Suárez y de Oro (al norte).

Es una falla inversa de ángulo alto, con una componente vertical importante (Reyes y Álvarez, 2007). París y Sarria (1988; en Royero y Clavijo, 2001) calculan la tasa de movimiento como baja (0.01 a 0.1 mm/año); además, se trata de una falla de rumbo con desplazamiento sinistral (Reyes y Alvarez, 2007).

El desplazamiento vertical se ha calculado entre 400 y 2300 m (Ward et al., 1973; en Royero y Clavijo).

#### 5.1.5. Sinclinal y anticlinal de Vélez

Según INGEOMINAS (1984) a nivel geoestructural el municipio está flanqueado al oriente y al occidente por los ejes de dos pliegues importantes: la parte occidental urbana pertenece al flanco oriental del sinclinal de Vélez, en una zona que alcanza las mayores elevaciones topográficas, en donde también está el casco urbano de Guavatá; y la parte más oriental y baja de estos municipios se localizan sobre el flanco occidental y el eje del anticlinal de Vélez, definido por la divergencia de datos de estratificación de campo y fotogeológicos, cuya línea de eje no está cartografiada pero si aparece el nombre de la estructura en la plancha 170 Vélez, conforme se observa en la anterior figura 11 (se señala la proyección del municipio en consideración, fundado sobre las unidades del Cretáceo inferior).

Figura 13. Corte geológico adaptado de la Plancha 170 Vélez.



Fuente: Modificado de INGEOMINAS (1984)



## 5.2. GEOLOGIA LOCAL

### 5.2.1. Estudios previos locales

En el área local se han realizado estudios geológicos previos, dentro de los cuales se sintetizaron los siguientes:

Álvarez y Bueno (1994) realizaron la tesis de pregrado titulada, "Evaluación geotecnia y mapa de aptitud para el uso urbano del municipio de Vélez, Santander". Este se enfocó en realizar un estudio amplio respecto al área urbana de Vélez para determinar posibles usos del suelo y para la expansión urbanística. Dentro del mismo se generó una cartografía geológica a escala 1:4.000, en donde se tiene como antecedente que "En la zona afloran rocas sedimentarias con edades del Cretáceo inferior al Cuaternario interrumpidamente que comprenden en parte las Formaciones Paja (Kip) y Tablazo (Kit) y depósitos cuaternarios de Vertiente (Qdv)", según Álvarez y Bueno, 1994.

Dicho esto, las principales formaciones estudiadas fueron la Formación Paja y Tablazo. Como parte importante del estudio se caracterizaron detalladamente la Formación Paja, para la cual definieron 5 unidades litoestratigráficas, según su textura, estructura y composición (siendo importante resaltar el hallazgo de rocas micríticas en el área urbana). Luego realizaron un estudio geomorfológico, produciendo una serie de mapas morfométricos, morfodinámicos y de componentes del terreno. Posteriormente efectuaron el estudio geotécnico, con la evaluación de sectores inestables.

Más recientemente Porras y Vianan (2013) realizaron la tesis de pregrado "Cartografía geológica, geomorfológica y geotécnica preliminar a escala 1:5.000 del casco urbano del municipio de Vélez y su área rural perimetral". La tesis aporta al conocimiento del material litológico urbano, en donde se describen varios tipos de rocas sedimentarias: un shale de color negro, carbonatado y con fósiles de amonita; arenisca de grano fino ligeramente micácea, shale de color negro y gris y un shale negro carbonatado. Este trabajo, a diferencia del anterior, nombra cuatro unidades litoestratigráficas para la Formación Paja. Por otra parte, se identificaron dos unidades geomorfológicas, de origen estructural y denudacional; esta última se presenta en casi toda la zona de estudio y corresponde a fenómenos de remoción en masa ocasionados por la infiltración de agua y la baja resistencia de la unidad (Porras y Vianan, 2013).

### 5.2.2. Unidades litológicas

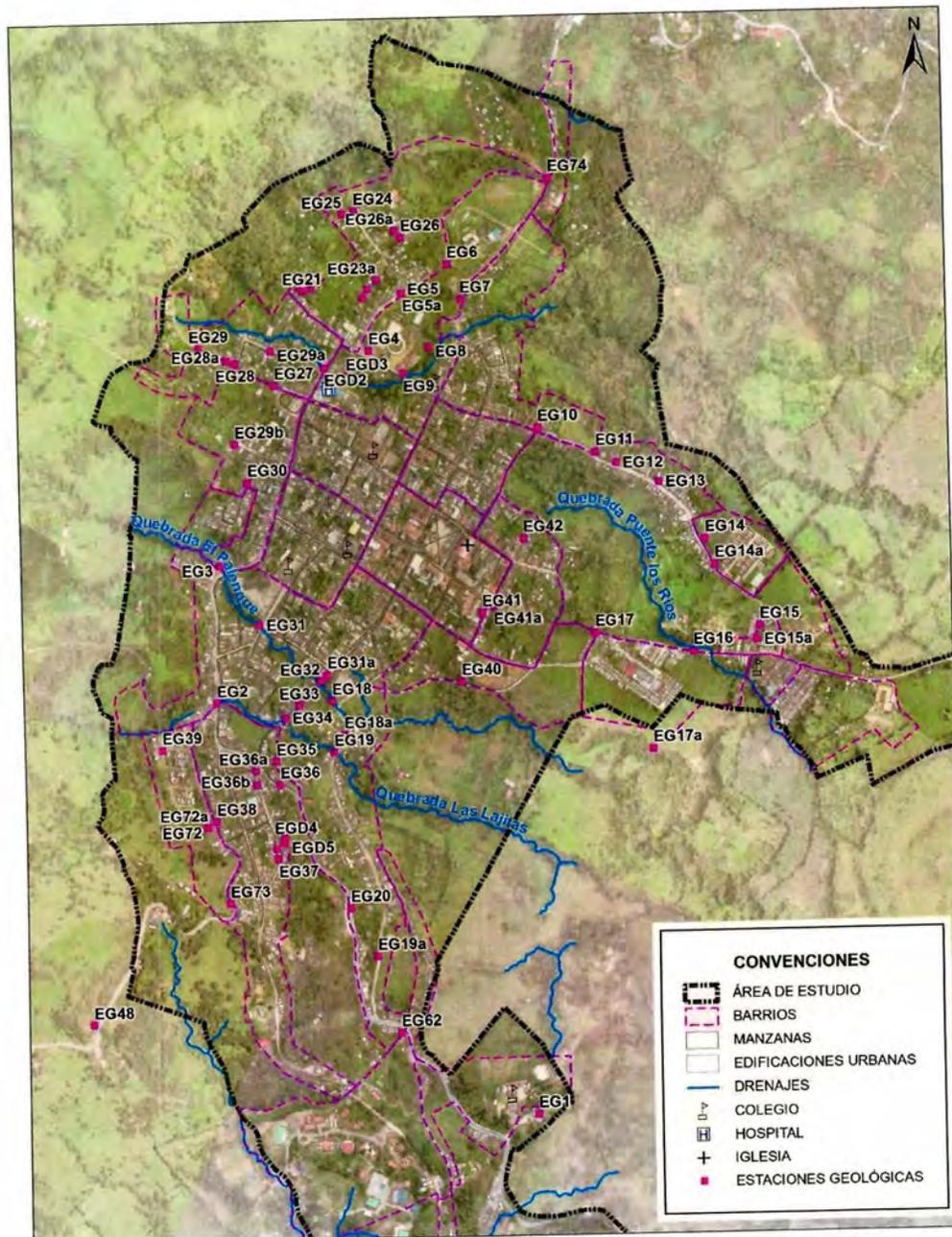
Para la caracterización y zonificación de unidades rocosas a nivel urbano se realizaron cinco campañas de campo en donde se levantaron en total 74 estaciones geológicas (véase figura 14 y Anexo III-1).

Se diseñó un formato para la captura de información de campo de 10 columnas: Estación, columna, ubicación (y acceso), georreferenciación (basadas en GPS), formación, descripción general, orientación de la estratificación, del diaclasamiento, descripción estratigráfica (de base a techo), propiedades geotécnicas y fotografías de campo.

Tales estaciones fueron georreferenciadas, al igual que las fotografías, en las bases de datos estructuradas en ArcGis en donde se plasmó toda la información de las unidades

geológicas como factor endógeno determinante en las tipologías de las inestabilidades urbanas de Vélez, (ver Anexo III-2).

Figura 14. Mapa de estaciones geológicas realizadas dentro del área urbana de Vélez (Anexo III-2).



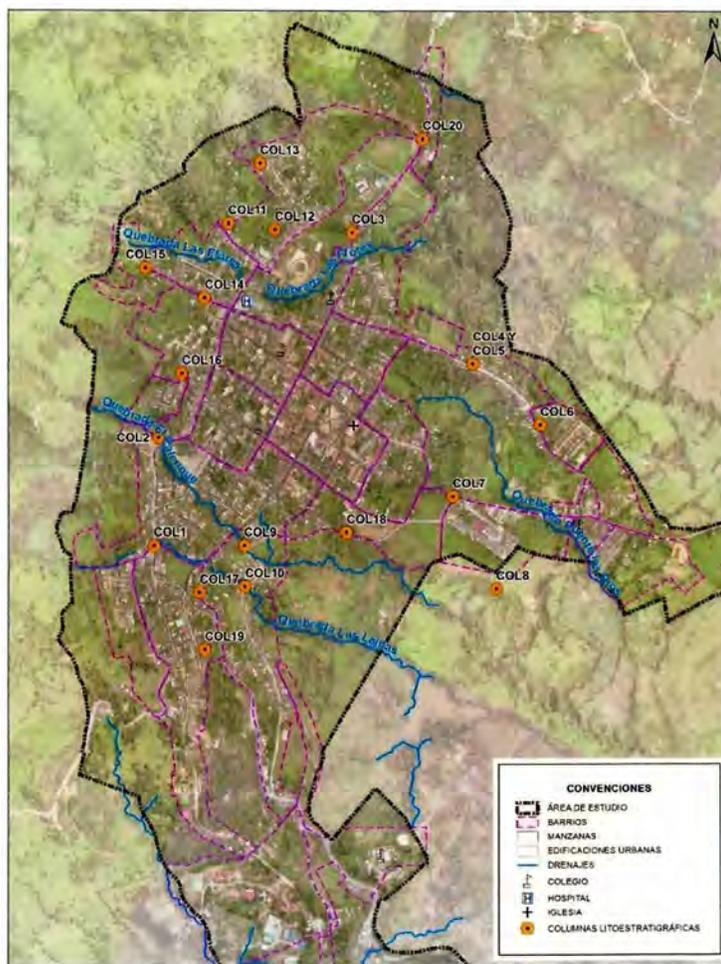
Fuente: Elaboración Propia

Consecuentemente se seleccionaron los sectores para levantar columnas litológicas (20 en total, Anexo III-3), detallando la textura, estructura y composición local de los estratos según su ubicación (Anexo III-4) (figura 15). Por otro lado se elaboró un informe sedimentológico y una descripción petrográfica (Anexo III-7 y III-8 respectivamente).

Para la realización de la geología local también se levantaron 18 columnas estratigráficas (pero enumeradas de 1 a 20), en los sitios con afloramientos importantes y espacialmente representativos a nivel urbano, conforme el reconocimiento previo y las estaciones de campo previamente efectuadas.

Para el levantamiento homogéneo de estas columnas (ver Anexo III-3) se tomaron datos en las partes norte, sur, oriente, occidente y central del área urbana (Anexo III-4). La descripción de cada columna litológica se encuentra en el Anexo III-5.

**Figura 15.** Localización geográfica de las columnas litoestratigráficas detalladas dentro del área urbana de Vélez (Anexo III-4).



Fuente: Elaboración Propia

### 5.2.2.1. Formación Paja

En general la Formación Paja está compuesta por limolitas y arcillolitas grisáceas, con laminación plano-paralela dominante y que poseen una propiedad fisil, rompiéndose a favor de tales planos sedimentarios, originando fragmentos tabulares (lajizos o “pajizos”) de hasta 15 cm de largo, de 1.5 cm de ancho y con el alto definido por el espaciado del set de láminas (Figura 16). Estas estructuras pajizas se originan por la meteorización mecánica, principalmente de las limolitas, al estar expuestas en superficie (en taludes de corte, por ejemplo) y por efecto de las expansiones y contracciones de la fracción arcillosa en ellas contenidas; las variaciones volumétricas y las consecuentes microdeformaciones se asocian a los cambios de humedad por las estacionales (invierno-humectación y verano-desecamiento), que facilitan a su vez procesos de meteorización, química, erosivos y de remoción en masa (dominantemente microdesprendimientos o deslizamientos planares).

**Figura 16.** Afloramiento (COL3) de limolitas grises, laminadas y fisibles, que se meteorizan originando estructuras “pajizas”, relacionadas a su nombre: Formación Paja.



Fuente: Elaboración propia.

Estas limolitas fosilíferas contienen huellas de amonitas, cefalópodos, braquiópodos y bivalvos, los cuales se observan en ocasiones elongados debido al diaclasamiento local. Dentro de algunas capas de limolitas se encuentran concreciones calcáreas y otras cubiertas por pirita. Además de esto se presentan capas de limolita calcárea (micrita). Todas estas facies litológicas de Formación Paja serán descritas más adelante en la descripción de cada una de ellas.

En la zona de estudio la Formación Paja abarca el 100% de la geología local, encontrada en un área de 2.88 Km<sup>2</sup>. Dentro de ella se definieron 3 segmentos o miembros, los cuales serán descritos más adelante. Cabe resaltar que estudios anteriores, como la tesis de Alvarez y Bueno (1994), se propusieron 5 subunidades de la Formación Paja a nivel urbano de Vélez.

Además de esto en el municipio de Vélez se encuentran suelos residuales, depósitos coluviales y aluviales del periodo cuaternario, que serán descritos en cada una de las columnas estratigráficas en donde se presenten.

#### 5.2.2.1.1. Detalle de la Formación Paja en los diferentes sectores del área urbana

- Zona Norte

En esta zona se describió la Columna número 3 (Figura 17) la cual presenta la siguiente descripción de base a techo.

**Figura 17.** Columna 3 (ver Anexo III-3.1) , en donde se observan las dos capas de limolitas arcillosas.



Fuente: Elaboración propia.

A. Limolita arcillosa, color gris oscuro, laminación plana, paralela, continua. Presenta micro fracturas con costras de OF de aspecto masivo y contiene huellas de amonitas menores a 0,15 m.

B. Limolita arcillosa, gris oscura a clara, con marcada laminación plana paralela discontinua. Presenta estructuras tabulares de hasta 0,18 m por 0,03 m y 0,04 m. Se observan huellas de amonitas de diámetro hasta 0,07 m.

Dentro de su composición hay cristales tabulares de muscovita hasta de 0,006 m; además se observa piritización y micromoldes de diatremas. Hacia la parte más superior de este estrato se observan moldes de nódulos esferoidales hasta 0,20 m.

**Figura 18.** Huellas de cefalópodos presentes en las capas de limolitas de la columna 3.



Fuente: Elaboración propia.

En la zona norte, subiendo estratigráficamente, se presentan arcillolitas y suelos residuales, los cuales se describen en la columna 11 (ver Anexo III- 3.3).

**Figura 19.** Columna 11 ( Anexo III-3.3).



Fuente: Elaboración propia.

A. Arcillolita, gris oscura con laminación plana, paralela, discontinua; se observan huellas de amonites de diámetro menor a 0,05 m. Composicionalmente presenta muscovita menor al 1% y se observan nódulos calcáreos disueltos menores de 0,10 m. e=0,90 m.

B. Limolita arcillosa, color gris oscuro y amarillento debido a las pátinas de hierro, con laminación plana paralela discontinua. La roca se observa extremadamente meteorizada por lo que no conserva la totalidad de las propiedades de la roca. e=1,40 m.

C. Suelo residual color café, con pátinas de oxidación, presenta materiales desde limos hasta guijarros compuestos de arenisca calcárea. Se observa materia orgánica, vegetación y raíces. e=2,0 m.

- Zona Oriental

En esta zona se levantó la columna número 8 de aproximadamente de 7 m, en donde se describieron las siguientes capas de la Formación Paja, de base a techo:

Limolita arcillosa, gris oscura a negra, fisible, con laminación plano-paralela discontinua. Composicionalmente presenta muscovita al 1%, OF menor al 1%. Presenta huellas de amonites menores a 0,03 m, huellas de cefalópodos elongadas menores a 0,04 m y concreciones calcáreas elongadas hasta 0,07 m. (Figura 18). e=2,5 m.

**Figura 20.** Izquierda, capa de limolita arcillosa; derecha, detalle de cefalópodo en ella contenido.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 21.** Lutita gris observada en la COL8 (Anexo III-3.2).



Fuente: Elaboración propia.

Limolita gris oscura a negra, con laminación plano-paralela discontinua. Presenta concreciones calcáreas menores a 0,2 m, las cuales están recubiertas con pirita y muscovita. Composicionalmente la roca presenta muscovita hasta 1%, pirita hasta 1% y OF menor al 10%. e=2,0 m. Se observa estructura tabulares menores a 0,20 m.

Arcillolita gris clara a negra, con laminación plana, paralela, discontinua, pero la roca es masiva. Se observan huellas de amonites menores a 0,05 m y se observan huellas de cefalópodos elongados, menores a 0,05m, y huellas de bivalvos menores a 0,10 m. e=2,0 m.

- Zona Sur

Hacia esta zona se encuentra la Columna 19, en donde se observan limolitas arcillosas, suelo residual y un depósito coluvial. A continuación se describe localmente las capas de Kip, de base a techo.

Limolita arcillosa negra a gris oscura, con laminación plana paralela discontinua, pero se le observa masiva. Composicionalmente presenta muscovita menor 1%, OF menor 5% (Figura 22).

Huellas de amonitas menores a 0,05 y presente nódulos de hasta 0,20 m. e=1,9 m (Figura 23).

Suelo residual de limolitas oscuras de tamaños menores a 0.30 m, se observan clastos angulares de limolitas y areniscas, areniscas calcáreas. Los materiales van desde arcilla hasta cantos menores a 0,50 m. e=2,0 m.

**Figura 22.** Detalle de superficie de estratificación de lodolita gris (unidad Kip).



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 23.** Suelo residual, con lodolitas pardo-grisáceas.



Fuente: Elaboración propia.

- Zona Occidental

Hacia esta zona se encuentra la Columna número 15, la cual se encuentra estratigráficamente más cerca al contacto de la Formación Paja con la Formación Tablazo. A continuación se describe dicha columna local, de base a techo.

Limolita arcillosa, parda, gris oscura a negra, con laminación plana, paralela, discontinua, fisil. Composicionalmente muscovita hasta 5%, piritita hasta 1%, OF hasta 1%. e=3,0 m (fver figuras 24 y 25).

**Figura 24.** Limolita arcillosa laminada, COL15 (Anexo III-3.5).



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 25.** Limolita arcillosa laminada (abajo), cubierta por limolita masiva.



Fuente: Elaboración propia.

Limolita arcillosa, gris oscura, con laminación plana paralela discontinua, fisil, con presencia de nódulos calcáreos hasta 0,03 m y concreciones calcáreas hasta 0,10 m. Composicionalmente presenta muscovita hasta 5% y OF hasta 20%. e=0,8 m.

- Zona Central:

Hacia la parte central se encuentra la columna 9, en donde se encuentran limolitas calcáreas (micritas). A continuación se describe de base a techo.

A. Limolita arcillosa negra a grisácea, con laminación plana paralela discontinua, pero la roca es masiva. Composicionalmente presenta  $\text{CaCO}_3$  y OF hasta 1%. e=0,40 m. (Figura 26).

**Figura 26.** A. Limolita arcillosa negra a grisácea, con laminación plana paralela discontinua, pero la roca es masiva. Composicionalmente presenta  $\text{CaCO}_3$  y OF hasta 1%. e=0,40 m.



Fuente: Elaboración propia.

B. Limolita negra a grisácea, fisil con laminación plano-paralela discontinua. La roca no es compacta pero presenta  $\text{CaCO}_3$  microcristalino (micrita) hasta del 50%. Se observan nódulos calcáreos hasta 0,15 m y concreciones calcáreas hasta 0,10 m de diámetro.

Composicionalmente presenta muscovita hasta el 1%, pirita hasta 5% y OF hasta 10%.  $e=1,60$  m.

C. Limolita negra a grisácea, fisil con laminación ondulada. Composicionalmente presenta  $\text{CaCO}_3$  microcristalino (micrita) hasta 50%, muscovita 20%, OF hasta 20%.

Se observan concreciones calcáreas de hasta 0,15 m y nódulos hasta 0,20 m de diámetro; las concreciones están recubiertas con pirita de grano fino.  $e=1,20$  m.

D. Limolita gruesa, color negro, con laminación plana paralela discontinua. Composicionalmente presenta muscovita al 1% y OF al 10%. Se observan concreciones calcáreas menores a 0,15 m.  $e=2,0$  m (Figura 27).

**Figura 27.** En rojo nódulo calcáreo en capa D de la Columna 9 ( Anexo III-3.3).



Fuente: Elaboración propia.

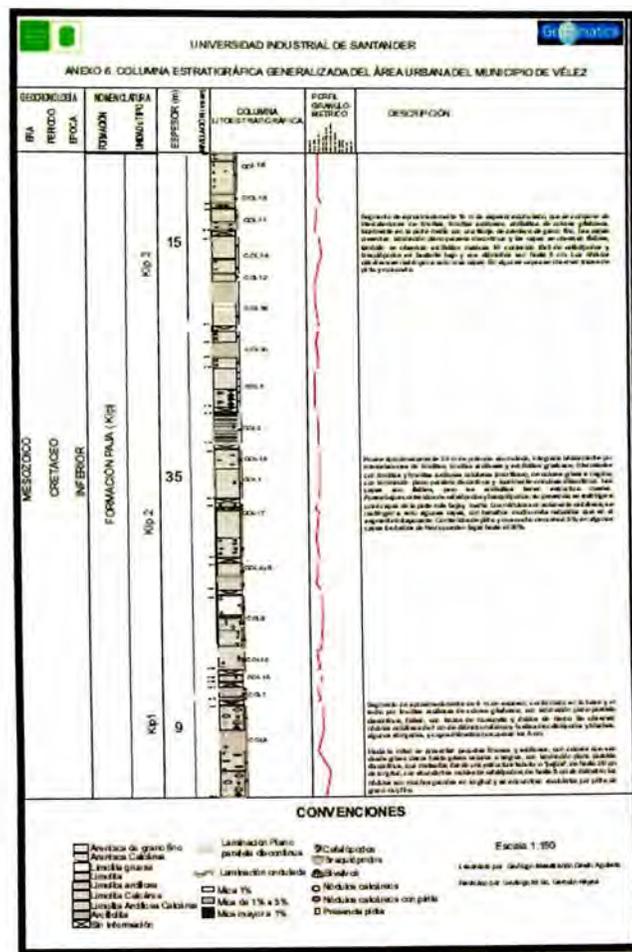
#### 5.2.2.1.2. Columna litoestratigráfica generalizada de la Formación Paja dentro del área urbana de Vélez

Luego de realizar el respectivo levantamiento de las columnas estratigráficas detalladas se nivelaron y analizaron cada una individual y colectivamente, con el fin de consolidar y definir una columna litoestratigráfica generalizada. Para la zona urbana del municipio de Vélez es la mostrada en la figura 28, en donde se definieron tres segmentos o subunidades dentro de la Formación Paja, según las diferencias en tamaños de grano, la composición, la estructura y los contenidos fosilíferos (ver Anexo III-6).



- Unidad Kip1: Segmento de aproximadamente de 9 m de espesor, conformado en la base y el techo por limolitas arcillosas de colores grisáceos, con laminación plano-paralela discontinua, fisiles, con trazas de muscovita y óxidos de hierro. Se observan nódulos calcáreos de 7 cm de diámetro máximo y huellas de cefalópodos y bivalvos, algunos elongados, y cuyos diámetros no superan los 5 cm.

Figura 28. Columna litoestratigráfica del área urbana del municipio de Vélez, editada a escala 1:140.



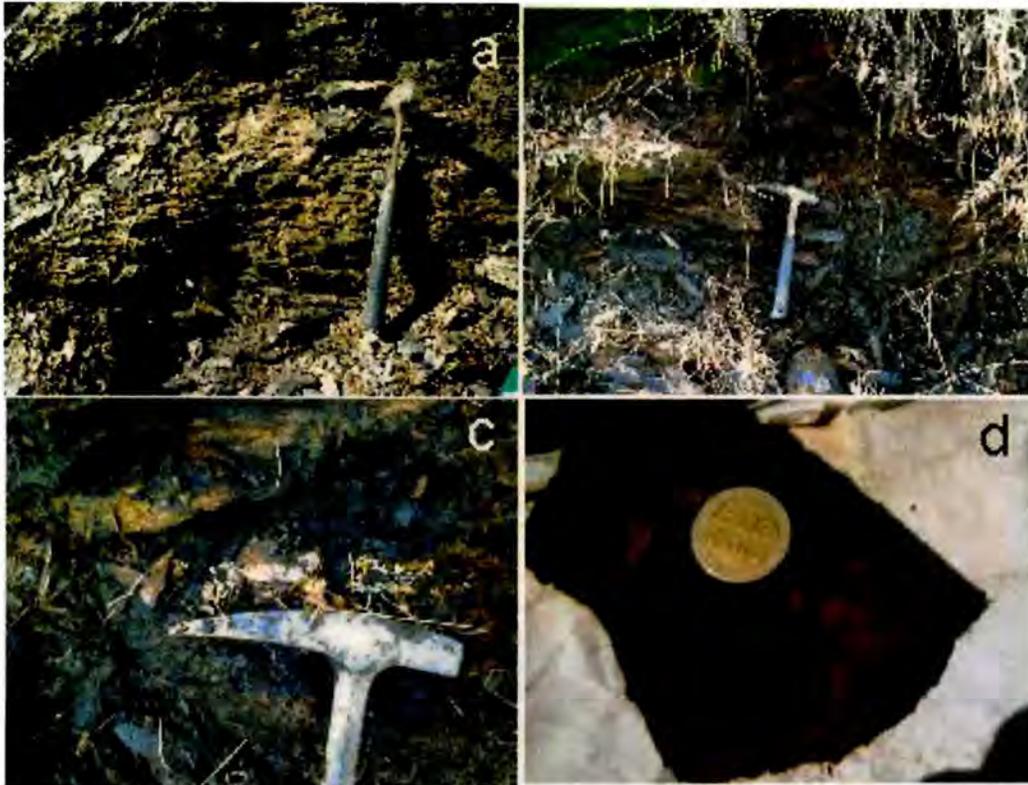
Fuente: Elaboración propia.

Hacia la mitad se presentan paquetes limosos y arcillosos, con colores que van desde grises claros hasta grises oscuros o negros, con laminación plana paralela discontinua, que meteoriza dando una estructura tabular o "pajiza", de hasta 20 cm de longitud, con

abundantes moldes de cefalópodos, de hasta 5 cm de diámetro; los nódulos son muchos, grandes en longitud y se encuentran recubiertos por pirita de grano muy fino.

- Unidad Kip2: Posee aproximadamente 35 m de potencia acumulada, integrada básicamente por intercalaciones de limolitas, limolitas arcillosas y arcillolitas grisáceas (Figura 29).

**Figura 29.** Mosaico: a. Arcillolita; b. Limolita arcillosa; c. Nódulo; d. Huella de cefalópodo.



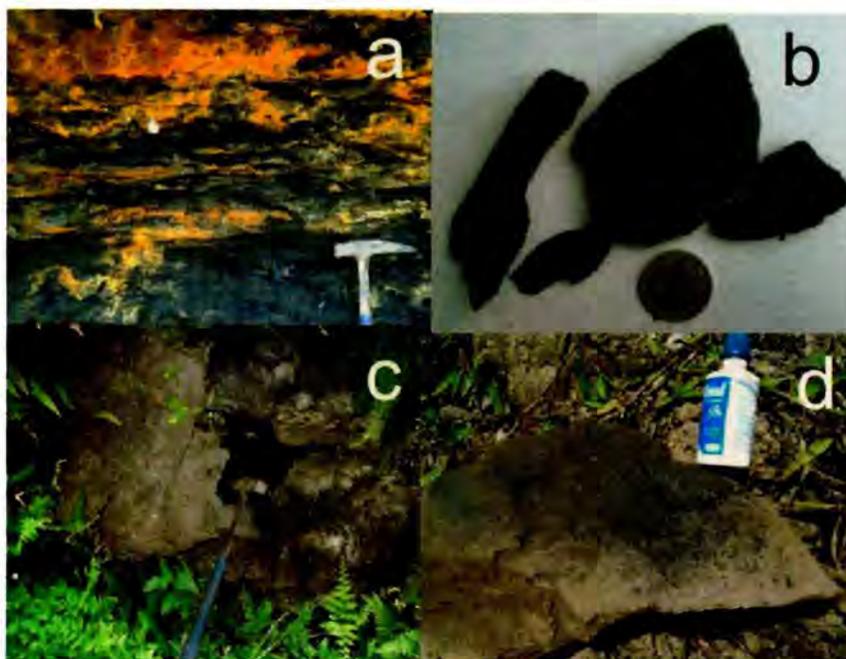
Fuente: Elaboración propia.

Se intercalan con limolitas y limolitas arcillosas calcáreas (micríticas), de colores grises a negros, con laminación plano-paralela discontinua y localmente ondulosa discontinua. Las capas son fisibles, aunque las arcillolitas tienen estructura masiva. Posee bajos contenidos de cefalópodos y braquiópodos; su presencia se restringe a unas capas de la parte más baja y media. Los nódulos son solamente calcáreos, se restringen a solo algunas capas, con tamaños mucho más reducidos que en el segmento infrayacente. Contenidos de pirita y muscovita menores a 5%; en algunas capas los óxidos de hierro pueden llegar hasta el 20%.

- Unidad Kip3: Segmento de aproximadamente 15 m de espesor acumulado, que se compone de intercalaciones de limolitas, limolitas arcillosas, arcillolitas de colores

grisáceos, localmente en la parte media con una franja de arenisca de grano fino. Las capas presentan laminación plano-paralela discontinua y las capas se observan fisibles; también se observan arcillolitas masivas. El contenido fósil de cefalópodos y braquiópodos es bastante bajo y sus diámetros van hasta los 5 cm. Los nódulos calcáreos se restringen a solo unas capas. En algunas capas se observan trazas de pirita y muscovita. (Figura 30).

**Figura 30.** Mosaico: a. Laminación ondulosa; b. Huellas de cefalópodos; c. Arcillolita masiva; d. Limolita arcillosa calcárea (lodo micrítico) que reacciona al HCl.



Fuente: Elaboración propia.

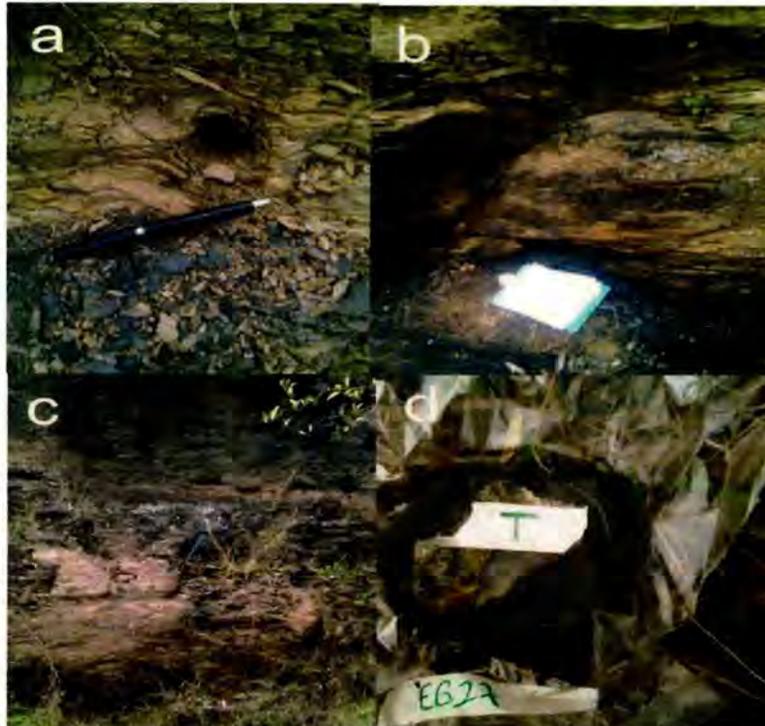
#### 5.2.2.2. Depósitos coluviales

En los trabajos geológicos efectuados en el área urbana de Vélez se identificaron varios tipos de depósitos coluviales del Cuaternario, que aquí se denominan Qc1, Qc2 y Qc3, en función del contenido (o porcentaje) y del tamaño de las gravas presentes, junto a su composición, como se describe en los párrafos sucesivos. En general, estos coluviones tienen una matriz fina (son lodo-soportados) y un armazón (es decir, los tamaños más grandes o abundantes) integrado por detritos rocosos (o gravas) con dos tipos composicionales principales, a saber: areniscas calcáreas pardas y lutitas grises. Tales gravas son típicamente heterométricas, con baja esfericidad y muy angulares a subangulares.

En cuanto a espesores los coluviones varían entre 2 y 6 m (este último como espesor máximo, medido en la columna 18). Los coluviones se distribuyen cubriendo en forma discordante a los tres segmentos de la Formación Paja.

Dada su posición topográfica y la relación local con la unidad suprayacente (al occidente más alto de Vélez) se infiere que todos estos fragmentos rocosos (los embebidos dentro de los coluviones, y que constituyen el armazón) tienen una proveniencia de la Formación Tablazo. La edad de los coluviones es Holocénica.

**Figura 31.** Mosaico: a. Espacio de nódulo calcáreo; b. contacto de arcillolitas masivas (abajo) con limolitas fisiles (arriba); c. Secuencia de limolitas, COL14 (ANEXO III-5.12); d. Muestra de limolita.



Fuente: Elaboración propia

#### 5.2.2.2.1. Coluviones Qc1 y Qc2

Grupo de coluviones matriz-soportados, que ocurren distribuidos con menores tamaños de gravas hacia la zona del piedemonte occidental de Vélez (excepto los distribuidos cerca de cauces, descritos más adelante) y que alcanzan tamaños bloque hacia el flanco oriental.

Es decir, al parecer los coluviones proximales (Qc1: figura 32 a) y b)) tienen un armazón de gravas con tamaños más pequeños (gránulos y guijarros), con matriz lodosa parda. En algunos sectores, como ocurre en el barrio Kennedy, los Qc1 tienen matriz lodosa

blanquecina a beige y un armazón más abundante (llegando puntualmente a ser gravosoportados), mejor seleccionados y muy angulares (Figura 33).

**Figura 32.** Detalle de coluviones del grupo Qc1: a) Izquierda, en inmediaciones del barrio los Cerezos, con un armazón de fragmentos de lutitas y areniscas calcáreas, en matriz limosa pardo-anaranjada; b) derecha, barrio la Esperanza, cuyas gravas alcanzan mayores tamaños (por ejemplo, ver el bloque rocoso bajo la libreta).



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte los depósitos coluviales distales (Qc2), que se distribuyen más lejanos -hacia el occidente del área urbana-; poseen gravas de mayor tamaño, aunque más dispersas y en menor porcentaje, como se evidencia en la figura 34 a), b) y c). Estos bloques en coluviones, los más grandes del área urbana, se pueden considerar como erráticos.

#### 5.2.2.2. Coluviones Qc3

Son poco comunes; se caracterizan por estar más o menos contiguos a paleocanales o cauces activos y porque típicamente constan de bloques rocosos angulares a subangulares y constituirse de calizas o areniscas calcáreas (figura 35) y tener una matriz lodosa a gravosa fina, pardo-grisácea.

#### 5.2.2.3. Depósitos aluviales y torrenciales

Se integran bajo tal denominación tanto a los depósitos de canal o aluviones recientes (Qal) como a los propiamente fluvio-torrenciales (Qft), ambos supeditados a los canales activos y márgenes (pequeñas barras, terrazas y llanuras inundables) de las corrientes que fluyen de occidente hacia el oriente dentro del área urbana de Vélez (Figura 34), algunas de ellas con valles en "U" y en varios sectores con secciones hidráulicas reducidas por la presión urbana (ocupación de rondas hídricas).

**Figura 33.** Depósito coluvial Qc1, en la calle 11 con cra. 8: guijos y gujarros angulares, de areniscas de grano muy fino, calcáreas, en matriz lodosa beige.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 34.** a) Depósito coluvial Qc2, visto en potreros aledaños al barrio la Rosita (al centro) y al SENA; b) izquierda detalle del coluvión sobre una zona de borde, con matriz anaranjada y guijos angulares; c) derecha, bloque conformado por arenisca calcárea nodular. Estas rocas, de gran tamaño (3,5 m de diámetro) cubren ocasionalmente el depósito sedimentario, al oriente de la población.



Fuente: Elaboración propia

Su heterometría (con tamaños de grano desde lodo hasta gravas tamaño bloque) y la inconsolidación de los sedimentos son otros rasgos principales.

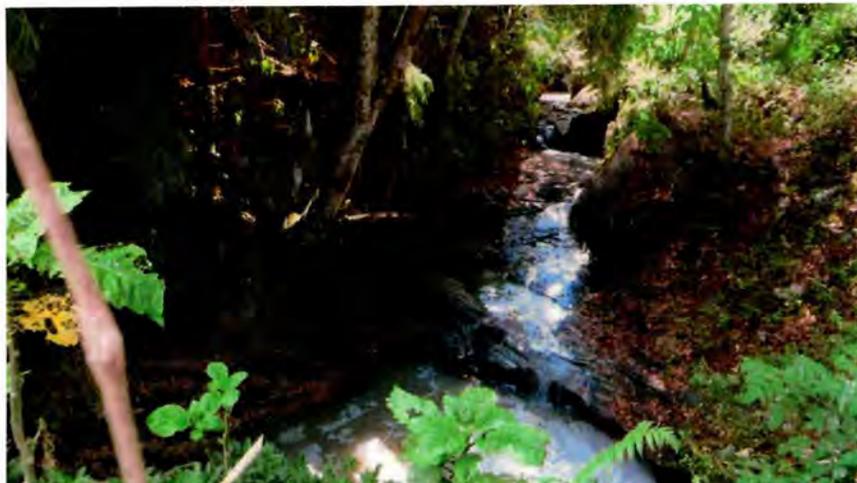
**Figura 35.** Afloramiento de coluvión Qc3, en donde se observan bloques de areniscas calcáreas de hasta 1.2 m de diámetro, embebidos en una matriz lodosa parda a gravosa fina. Punto de toma: Cra. 6 con calle 12.



Fuente: Elaboración propia

Además, debido al sustrato rocoso dominante de la Formación paja, en muchos cauces de aguas permanentes el canal es propiamente rocoso por la erosión fluvial del basamento, dejando a la lutita expuesta en "lajas" y conformando por varios metros pendientes estructurales subhorizontalizadas, que no contienen sobre ellas ningún tipo de acumulación de caudales sólidos (Figura 35).

**Figura 36.** Aspectos de los aluviones recientes (Qa1) de la quebrada las Flores.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 37.** Pendientes estructurales, sin depósitos sedimentarios, por donde discurre la quebrada el Palenque.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 36 se evidencian acumulaciones de origen fluviotorrencial (Qft), antiguas y cubiertas por líquenes.

**Figura 38.** Bloques rocosos que definen el carácter fluviotorrencial (Qft) de la quebrada el Palenque. Arriba el puente de la cra. 3.



Fuente: Elaboración propia



### 5.3. DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES

Se denomina formación superficial a las unidades diferenciadas de materiales litológicos con naturaleza física diversa, que se expone en la superficie terrestre y llega a alcanzar un espesor importante. Su conocimiento permite inferir la susceptibilidad del suelo a los diferentes cambios que en él operen; constituye la base de apoyo de las obras civiles, por lo cual su conocimiento, características y fenómenos a los que están sometidas, es básico en la planeación del uso del territorio (Hermelin, 1996).

Uno de los factores de análisis importantes para los estudios de susceptibilidad y la zonificación de amenazas es el litológico o de formaciones superficiales, pues no solo considera las unidades de roca (ya descritas) sino las coberturas geológicas más delgadas y externas en la corteza, a nivel local; lo cual condiciona directamente otras variables, como la geomorfología, la hidrogeología, las coberturas vegetales y con ello la tipología de ruptura de las remociones en masa.

Como formaciones superficiales dentro del área urbana de Vélez están las unidades rocosas (blandas, intermedias o duras, que fueron descritas en el capítulo de geología), los depósitos sedimentarios (aluviales, coluviales, etc., que suelen ser llamados suelos transportados), los suelos propiamente dichos (perfiles de meteorización o saprolitos, de distinta granulometría, conocidos también como suelos residuales), los depósitos de origen antrópico (llenos o rellenos, en escombreras, basureros o rellenos sanitarios, etc.) y los terrenos antropizados del municipio para urbanismo.

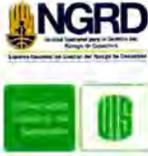
En la figura 42 se presenta el mapa de formaciones superficiales, a escala detallada 1:2.000, las cuales se describen seguidamente.

#### 5.3.1. Ponderación por factor litológico

La valoración para dicho factor (factor litológico, Li) se realizó modificando la propuesta presentada por Mora y Vahrson (1994) en su metodología para la zonificación de amenaza por movimientos en masa, la cual es ponderada de 1 a 5, tomando en cuenta las características relevantes de las unidades geológicas (textura, estructura y composición).

En el presente estudio, además de las estructuras geológicas o geoestructuras (esto es, orientación de estratos, presencia de sistemas de fracturación o diaclasamientos y de fallas geológicas) y la meteorización (física, química y biológica), se consideró el espesor o profundidad (en metros) de la formación superficial.

El factor litológico (Li) aquí utilizado aquí también varía de 1 a 5. En general, a mayor presencia de geoestructuras, alto grado de meteorización y mayor espesor de la formación superficial, se tendrá un valor de factor litológico alto. No obstante, tal ponderación no es lineal sino compleja, y depende de la experticia del profesional que realiza la zonificación heurística.



Si las geoestructuras son desfavorables (en el caso de que las fracturas tengan poco espaciamiento, alta frecuencia, continuidad en el afloramiento, sean abiertas o con rellenos arcillosos; o la orientación de capas esté en el sentido de la pendiente) y la meteorización es intensa (que origina suelos finos, materiales friables, y susceptibilidad a la erosión hídrica y las remociones en masa), se asigna un factor litológico mayor. Pero el espesor de la formación superficial es preponderante, pues tendrá más amplitud en los patrones de afloramiento o mayor exposición: así, un mayor espesor posee un factor litológico mayor, y serán poco apreciables los otros dos aspectos del control del factor litológico.

Por lo anterior, si la roca no posee estructuras geológicas desfavorables ni profundidad de meteorización importante, entonces el espesor ejerce control directamente proporcional en el valor de Li. Entre dos formaciones superficiales que posean geoestructuras y meteorización similares, tendrá una mayor magnitud la que posea mayor espesor.

A continuación se describen las formaciones superficiales identificadas dentro del área urbana de Vélez (ver tabla 2), con algunas descripciones, registro fotográfico y la tabla del factor litológico (Li) asignado.

**Tabla 2.** Formaciones superficiales identificadas en el área urbana de Vélez, con sus atributos y el factor litológico (Li) asignado.

Formación Superficial	Geoestructuras	Meteorización	Espesor (m)	Valor Li
Terrenos urbanos antropizados (Tua)	No	No	<1	2
Llenos antrópicos (Llen)	No	No	<5	5
Canal aluvial q. Palenque (Cap)	No	No	<1.5	1
Canal aluvial q. las Flórez (Caf)	No	No	<1	1
Canal aluvial q. el Gaital (Cag)	No	No	<0.5	1
Canal aluvial q. Puente Tabla (Cpt)	No	No	<0.5	1
Otros canales urbanos (Cao)	No	No	<0.5	1
Depósitos coluviales q. Palenque (Cop)	No	Si	<2	5
Depósitos coluviales q. la Gaital (Cog)	No	Si	<1.5	5
Depósitos coluviales dispersos (Cod)	No	Si	<1	5
Suelos de remociones en masa (Sre)	No	Si	<2.5	4
Suelos residuales finos (Srf)	Si	Si	<1	3
Roca lodosa estratiforme (Rle)	Laminación y capas delgadas	Si	<0.7	1

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.2. Interpretación de la susceptibilidad por factor litológico

Según la tabla 2, dentro del área urbana del municipio de Vélez se reconocieron trece (13) formaciones superficiales, asociadas a los llenos (Llen) y terrenos urbanos antropizados (Tua) y las unidades litológicas que se describen en la sección de geología local: Formación Paja (Kip), suelos residuales asociados y depósitos del Cuaternario (aluviales, Ca; y coluviales, Co, de diversos tipos.

Para el área urbana las formaciones superficiales con la valoración de factor litológico mayor ( $Li=5$ ) corresponden a los amplios depósitos coluviales distribuidos sobre las vertientes de las quebradas el Palenque (Cop), la Gaital (Cog) y otros dispersos (Cod), al igual que los diversos y complejos llenos antrópicos (Llen), como se observa en las figuras 39 a 41.

En contraparte, las unidades con menor valoración ( $Li=1$ ) corresponden a las rocas lodosas y estratiformes de la unidad Kip, junto a los fondos rocosos (consolidados y más estables) de los dos principales canales aluviales urbanos (quebradas el Palenque, las Flórez, el Gaital, Puente Tabla y otras), como se mostró en las anteriores figuras 36 a 38.

**Figura 39.** Detalle de sustrato de fundación de vivienda, parte alta barrio la Esperanza, cartografiado como unidad litológica Qc2 y que corresponde a la formación superficial coluviones dispersos (Cod). Se observa claramente una matriz lodosa parda con bloques rocosos angulares. Factor litológico  $Li=5$ .



Fuente: Elaboración propia

**Figura 40.** Vista del lleno antrópico (formación superficial Llen), conformados por materiales granulares finos de distinta procedencia, el cual fue desestabilizado a mediados de octubre de 2014. Barrio Ricaurte (cra. 3 con diagonal 4), predio del señor Rodolfo María. Factor litológico  $Li=5$ .



Fuente: Elaboración propia

**Figura 41.** Panorámica de lleno (Llen) explanado en el barrio el Palenque, sitio Talleres de Castebianco. Factor litológico Li=5.



Fuente: Elaboración propia

La cartografía de tales formaciones superficiales se generó a escala 1:2.000 (figura 42).

En la figura 43 se presenta el mapa de susceptibilidad geológica (Volumen VII), según los valores asignados en la tabla 2 y los modelos analizados en ArcGIS.

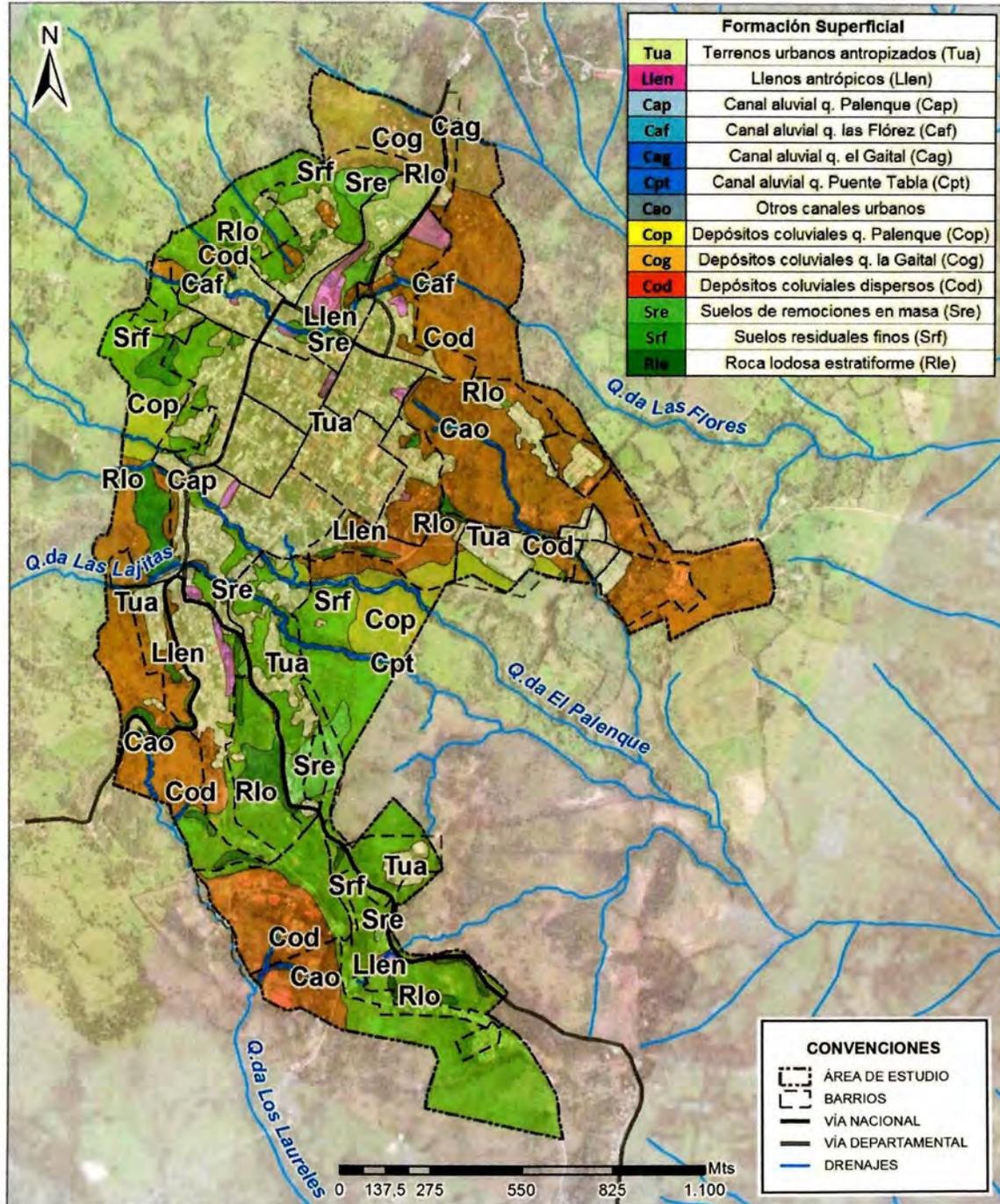
Es de resaltar que a los llenos evaluados y a los distintos tipos de coluviones (variables por la granulometría de la matriz, así como en el tamaño y contenido del armazón, desde guijos hasta bloques rocosos) se les asignó un susceptibilidad de calificación muy alta (Li= 5, señalada con color rojo en el mapa), como ya se mencionó. Ella posee amplios patrones de afloramiento sobre el costado oriental urbano (al centro-oriente y al nororiente), así como sobre el flanco centro-occidental y suroccidental.

Por otra parte, la susceptibilidad alta (Li=4, señalada con color anaranjado en el mapa) corresponde a los materiales derivados de inestabilidades (suelos de remociones en masa, Sre), recientes y antiguos evidenciados, muy dispersos pero de menor extensión dentro del casco urbano municipal.

La susceptibilidad con Li=3 tiene calificación media, color cartográfico amarillo y está relacionada a las formaciones superficiales "suelos residuales finos (Srf)", mientras que Li=2 corresponde a los "terrenos urbanos antropizados (Tua)", de calificación baja y color cartográfico verde claro).

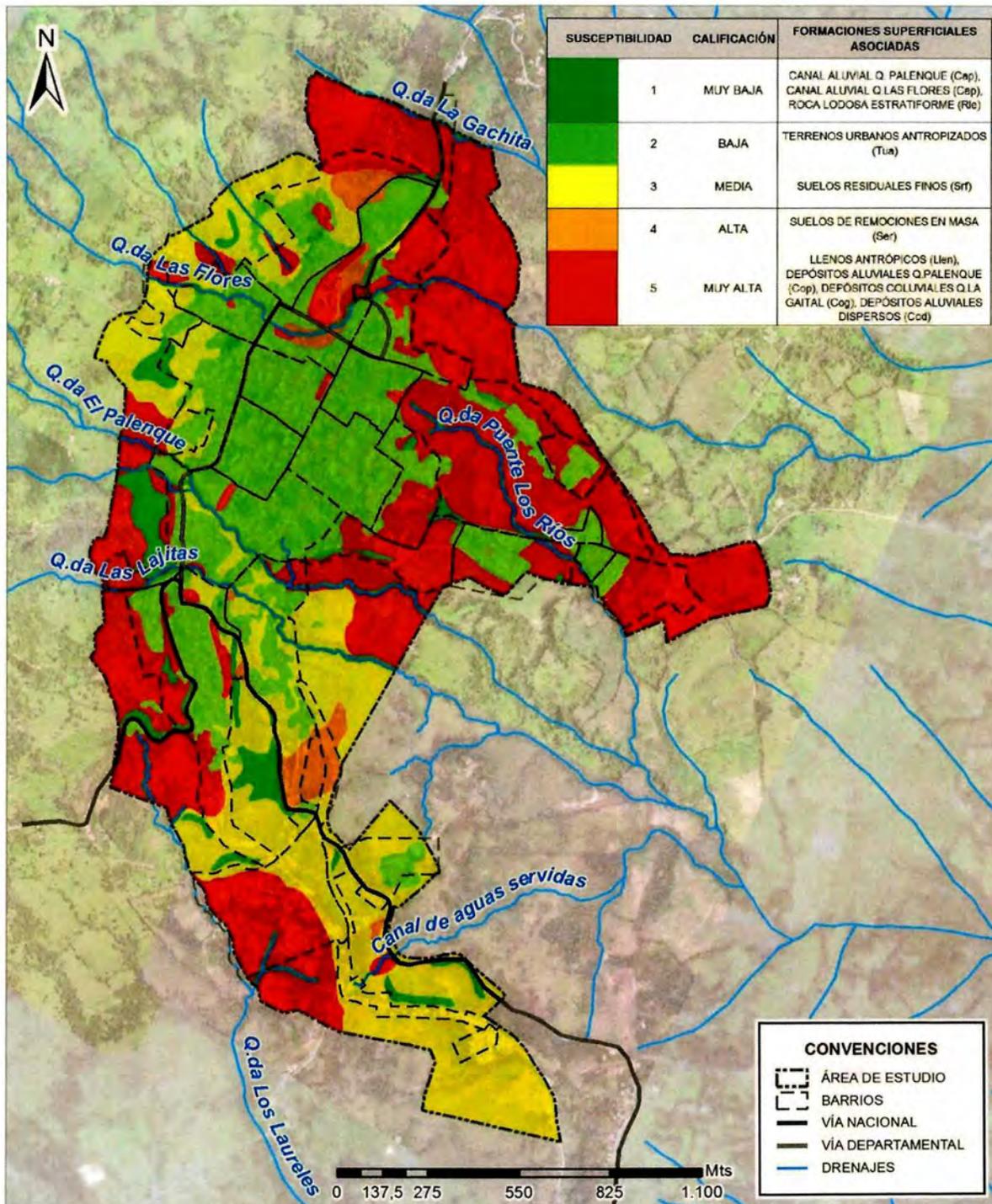
Finalmente, la susceptibilidad calificada como muy baja (Li=1) ya fue antes analizada: son los cuatro drenajes urbanos principales, junto otros de menor jerarquía. Son las formaciones superficiales menos susceptibles, debido a que en sus lechos aflora roca fresca (unidad geológica Kip), que aunque es de grano fino es consolidada y estable.

Figura 42. Mapa de formaciones superficiales del área urbana de Vélez (Plano U-05).



Fuente: Elaboración propia

Figura 43. Mapa de susceptibilidad geológica del área urbana de Vélez (Plano U-06).



Fuente: Elaboración Propia

## 5.4. ANÁLISIS GEOLOGICOS DETALLADOS

### 5.4.1. Sedimentología de muestras de mano

Dentro del estudio Geológico se elaboró un informe sedimentológico de las muestras de roca representativas (Ver Anexo III-7) recolectadas en el área urbana de Vélez. A continuación se relacionan las muestras analizadas (ver tabla 3), Las cuales están ubicadas geoespacialmente en la siguiente imagen (ver figura 42).

**Tabla 3.** Muestras analizadas informe sedimentológico.

MUESTRAS LEVANTADAS			
Número estación	Formación superficial	COLUMNA	Muestra
2	Qal/Kip2	Col. 1	1
7	SR/Kip2	Col. 3	1
12	Qc/SR/Kip	Col.4	1
17a	Qc/Kip1	Col.8	2
18	Qal/Kip2	Col.9	1
21	Kip3	Col.11	1
27	Kip3	Col.14	1
43	Kip2	Col.19	1
47	Kip3		1
48	Kip3		2
69	Kip		1
74	Kip		1

Fuente: Elaboración propia

**Figura 44.** Localización muestras analizadas.



Elaborado por: Geólogo Dewin Aguilera  
 Revisado por: Geólogo M.Sc. German Reyes

Fuente: Elaboración propia



#### 5.4.2. Petrografía local

Dentro del estudio geológico detallado también se realizó la descripción (ver Anexo III-8, Geoinforme) de 13 secciones delgadas, correspondientes a 8 del área urbana y 5 de área rural del municipio de Vélez (ver tabla 4).

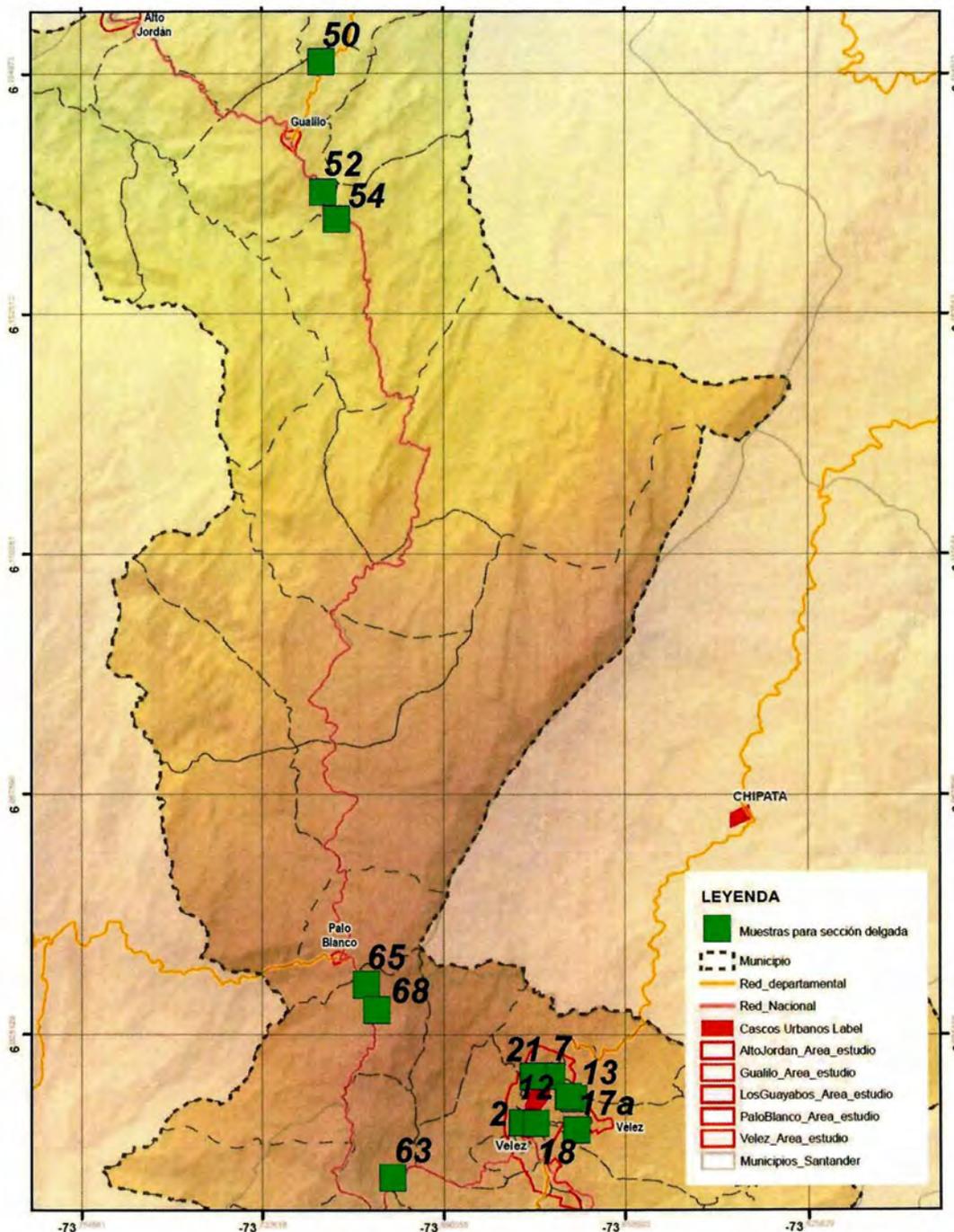
La ubicación espacial de las muestras se indica en la figura 45.

**Tabla 4.** Muestras analizadas.

MUESTRAS LEVANTADAS		
Número estación	Formación superficial	COLUMNA
2	Qal/Kip2	Col. 1
7	SR/Kip2	Col. 3
12	Qc/SR/Kip	Col.4
13	SR/Kip	Col.5
17a	Qc/Kip1	Col.8
18	Qal/Kip2	Col.9
21	Kip3	Col.11
50	Kis	
52	Kit	
54	Kit	
63	Kip	
65	Kis	
68	Kit	

Fuente: Elaboración propia

Figura 45. Localización muestras analizadas.



Fuente: Elaboración propia

### 5.4.3. Análisis de resultados

Dentro del área urbana de Vélez afloran rocas sedimentarias carbonatadas, ya enunciadas regional y localmente según varios autores, que hacen parte de la unidad litoestratigráfica Formación Paja (Kip), esencialmente lodosas, como lo evidencia la figura 46, y que por su dominancia se describen con detalle en la presente sección.

**Figura 46.** Afloramiento de limolitas grises en inmediaciones del barrio San Luis (COL3).



Fuente: Elaboración propia

Igualmente, en el área urbana del municipio de Vélez (Santander) hay perfiles de meteorización (suelos residuales u autóctonos) desarrollados sobre tales rocas, así como depósitos sedimentarios de origen coluvial (proximales, distales y dispersos) y depósitos aluvio-torrenciales, que se caracterizaron posteriormente, dada su importancia intrínseca en los procesos geomorfológicos que afectan a las viviendas e infraestructuras dentro de la cabecera municipal.

Por otro lado al desarrollar el análisis sedimentológico se observa lo siguiente en una muestra característica:

EG2, COL1, Kip2

**Figura 47.** En la parte superior izquierda foto donde se tomó la muestra. En la parte superior derecha foto muestra de mano. En la parte inferior foto tomada en lupa binocular a x80.

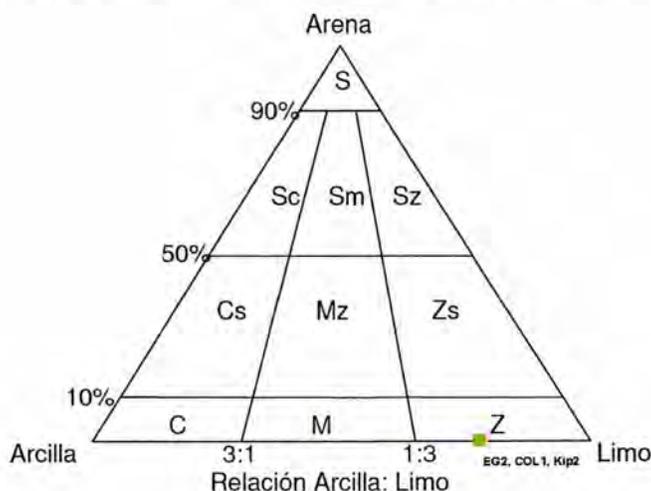


Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.** Descripción sedimentológica muestra EG2.

Muestra		EG2, COL1, Kip2		
Tamaño de grano según Udden-Wentworth (1898, 1922).		Lodo		
Calibrado según Anstey-Chase (1974)		Muy bien calibrado		
Forma de las partículas según Powers (1982).		No observable debido al tamaño de las partículas		
Armazón		Lodosoportado		
Matriz		Lodosa		
Cemento		Calcáreo		
Empaquetamiento		Cerrado		
Porosidad según (Schmedt, McDonald and platt, 1977, Choquette y Pray, 1970)		Fractura.		
Fósiles		NA		
Porcentaje de los componentes texturales (%):				
Armazón:	Limo	40	Recalculo de los componentes para usar en cuadro de clasificación rocas terrígenas de grano fino	
Matriz:	Arcilla	10		
Cemento:	Calcáreo	49		
Poros:	1			
Composición:	Trazas pirita		Armazón:	80
Total Roca:	100		Matriz:	20
Nombre textural según Folk 1974	Limolita shale			
Nombre composicional según Dunham 1962.	Mudstone			

Fuente: Elaboración propia

**Figura 48.** Diagrama triangular para la clasificación de rocas terrígenas de grano fino.

Fuente: Modificado de Folk 1974.



Además de esto se analizó la misma muestra mediante un análisis petrográfico (Anexo III-8) y se observa:

Formación: Kip2

*Clasificación:* Shale carbonáceo-micáceo laminado, con efectos de deformación por esfuerzos compresivos:

Compuesta principalmente de materia orgánica laminar (54 %) y hojas de moscovita (37 %) que constituye la matriz de la roca. El origen de esta moscovita puede ser producto de la alteración de minerales argiláceos por temperatura, producto de un posible bajo grado de metamorfismo. Se observan bioclastos silicificados dentro de los cuales se reconocen placas de equinodermos (1%), reemplazados por sericita (2%), granos terígenos de extinción recta (1%), carbonato de calcio ferroso (3%) y ankerita (1%) (tabla 6).

**Tabla 6.** Descripción composicional.

DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	
MATRIZ	
Matriz de materia orgánica laminar	54%
ARMAZÓN	
Moscovita	37%
Bioclastos indiferenciados:	3%
Sericita	2%
Cuarzo extinción recta	1%
CEMENTOS	
Carbonato de calcio ferroso	3%
Ankerita	1%
POROSIDAD PETROGRÁFICA	$\phi_1 = 0\%$ $\phi_2 = \text{Trz}$

Fuente: Elaboración propia

**Figura 49.** Fotomicrografía tomada en nicoles cruzados con objetivo de 5X. Aspecto textural del shale carbonáceo moscovítico. Se observan láminas de materia orgánica intercrecido con hojas discontinuas de micas, principalmente moscovita.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 50.** Fotomicrografía tomada en nicoles cruzados con objetivo de 10X. Se observan láminas gruesas de carbonatos silicificados y cloritizados con efectos de compresión.



Fuente: Elaboración propia



## 5.5. RECOMENDACIONES

Para la cartografía geológica urbana se requieren controles de campo adicionales, con el fin de precisar los contactos de los tres miembros urbanos definidos en la parte superior de la Formación Paja (Kip1, Kip 2 y Kip3), así como el contacto con la suprayacente Formación Tablazo (Kit), ubicado hacia cotas topográficas más altas y cerca al límite periurbano occidental de Vélez.

Dentro del marco de este trabajo es importante mejorar la escala de detalle con la que son analizadas las diferentes formaciones rocosas y depósitos sedimentarios anteriormente mencionados: desde el nivel rural al local, pasando del nivel de afloramiento hasta el de describir muestras de mano.

Una forma de precisar este conocimiento es llegar al nivel microscópico, con técnicas de análisis instrumental; esto es, mediante el estudio petrográfico de las rocas, elaborando secciones delgadas y analizándolas mediante el microscopio de luz reflejada, para determinar con más detalle las estructuras primarias (laminación), la presencia de carbonatos de calcio, los cuales pueden estar disueltos y causar microporosidades, lo cual difícilmente puede conseguirse visualmente.

Otra manera más profunda de sondear estos materiales se puede lograr mediante el uso de la difracción de rayos X (DRX) y la microscopía electrónica de barrido (SEM), que permiten identificar la mineralogía de arcillas (tipo y porcentajes de los diferentes minerales), sus asociaciones, estructuras y propiedades petrofísicas de las rocas en estudio.

Se ha descubierto una clara interrelación en los umbrales entre roca-suelo y los depósitos coluviales suprayacentes con un alta susceptibilidad geomorfológica a la inestabilidad. Justo en la transición de la roca fresca (o madre) y el inicio del perfil de meteorización (saprolito) es que posiblemente dominan los flujos y los deslizamientos traslacionales que afectan a Vélez, con la contribución de las propiedades hidráulicas y mecánicas desfavorables a nivel de las formaciones superficiales, por lo cual es importante investigar aún más la matriz y las fracciones finas (limos y arcillas) con las herramientas que brinda la nanotecnología.

Igualmente, se deben continuar con la interpretación de datos de geología estructural urbana, la georeferenciación de estaciones a nivel rural para la identificación y zonificación de las unidades litológicas, con los consecuentes trabajos de geomorfología (inventario de deslizamientos).



## 6. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA

### 6.1. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO GENERAL

La cabecera urbana del municipio de Vélez se encuentra ubicada en territorio localizado al sur del departamento de Santander, donde superficialmente aflora una cobertura mesozoica constituida por rocas sedimentarias, estratificadas casi horizontalmente, que por levantamiento tectónico, acompañado de importantes plegamientos, se manifiestan en el relieve en forma de sucesión de anticlinales y sinclinales, mostrando toda una individualización de grandes geoformas propias de estos contextos. Ellas son las mesetas y mesetas cuando la estratificación de esa cobertura es aproximadamente horizontal y de cuestras cuando la estratificación ha quedado suficientemente inclinada, en este último caso mostrando, un frente estructural escarpado (frente de cuesta) seguido en su parte trasera por un largo espaldón o reverso de poca pendiente, en el que los suelos afrontan su normal proceso de formación, territorio que se conoce como una superficie estructural en tanto que lateral y frontalmente estas estructuras suelen mostrar sus escarpes estructurales laterales, donde es clara su disposición estratigráfica. Superficialmente estas grandes geoformas están afectadas por los procesos de meteorización y formación de suelos, tanto de los llamados residuales (subsuelo) como los superficiales de interés edafológico invadibles por la vegetación, incluidos los procesos de erosión y destrucción del relieve, función de los mecanismos climáticos e hidrológicos a que están sometidos. Estas son las características generales que se observan en estas grandes geoformas, particularmente en el cinturón de mesetas y cuestras que recorre de norte a sur, el centro del territorio santandereano.

### 6.2. TAXONOMÍA DE LAS GEOFORMAS PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

A la altura del casco urbano del municipio de Barbosa se levanta, dirigiéndose hacia el occidente (hacia Vélez), lo que se identifica como un reverso de cuesta, que remata en el sector de Peña Blanca (frente de cuesta), viniendo a continuación y al pie de este una depresión topográfica o valle intramontano de sentido general norte sur, que hacia el norte permite el drenaje de la quebrada El Ropero (en dirección de Guepsa) y Ciénaga al sur (cota 1600 a 1800 msnm), con sus disimétricos valles a partir de las cuales, hacia el occidente comienzan las vertientes orientales de la que hemos llamado la serranía de Vélez – La Paz (se le denomina Cordillera Gaital o Cuchilla de Vélez en el plano geológico), la que en su parte terminal sur o extremo sur se pueden diferenciar tanto vertientes con caída hacia su costado oriental como las que lo hacen hacia el sur que fluyen hacia el río Ture y las que lo hacen hacia el occidente con drenaje hacia los ríos Carare y Opón.



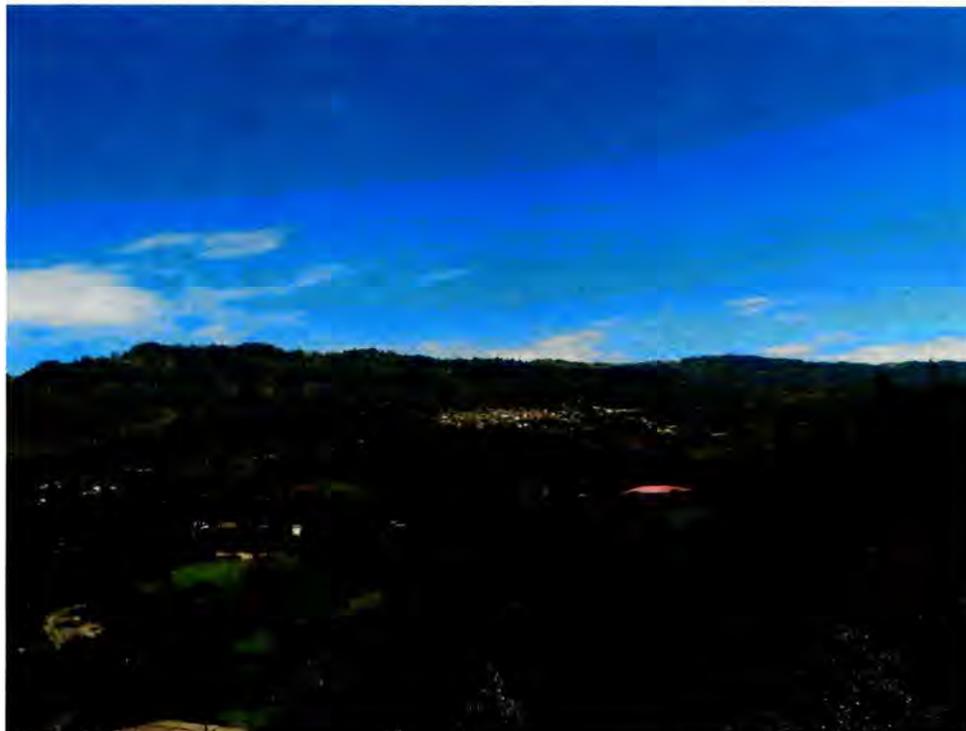
Para los propósitos del presente trabajo, nos situaremos en las vertientes orientales del extremo sur de la Serranía Vélez – La Paz, con caída hacia su costado oriental, donde hacia la parte media alta se localiza el casco urbano de Vélez hacia los 2000 metros de altitud. Son largas vertientes de mediana pendiente que a su vez se constituyen en parte las cabeceras de las quebradas Las Flores y Palenque – La Lajita que tienen sus nacimientos en el tope de esta Serranía, las cuales intervienen profundizándose en el relieve, erosionándolas de oriente a occidente en su proceso de disección en el sentido de aguas arriba. Estas quebradas, al llegar desde tales vertientes al fondo de la depresión El Ropero – Ciénaga, entregan sus aguas al primero de estos, luego de girar girando casi en ángulo recto hacia el norte, continuando por el fondo de la citada depresión que va paralela al río Suárez, donde luego de largo trayecto entrega sus aguas a este río. Hacia el sur, la red hidrográfica ha obrado en idénticas circunstancias geomorfológicas. También su red hidrográfica ha erosionado con mayor vigor las vertientes del costado occidental con las quebradas Laureles y Los Negros, al punto de establecerse una divisoria de aguas entre sí, a modo de alta pared estructural de carácter residual que enmarca hacia el costado sur el amplio entrante donde se ubica el área urbana de Vélez. Lo anterior significa que los terrenos que conforman estas divisorias de aguas, son los que más han resistido el proceso de destrucción del relieve por parte de las redes hidrográficas que han atacado el extremo sur de la citada serranía.

El siguiente nivel de observación geomorfológica de las vertientes orientales del extremo sur de la Serranía Vélez – La Paz, son los amplios escalones aproximadamente horizontales que la modelan, que acá se llamarán macroescalones, cada uno de ellos compuestos por una ancha grada ligeramente inclinada hacia el oriente y un alto salto o escarpe entre grada y grada, distinguiéndose de arriba abajo cinco escalones, disposición topográfica que se pierde en el valle inferior y parte baja de las quebradas tributarias de la quebrada El Ropero. En el cuarto escalón se ubica el área urbana de Vélez (Figura 49)

Considerando como primer macroescalón el ubicado en el tope de la serranía por encima de la cornisa que se destaca a la altura de la cota 2450, este es de características inclinadas (hacia el oriente), apenas destruido en su parte baja por el proceso erosivo del cauce principal de las quebradas Palenque y Las Flores. Desaparece hacia el sur erosionado por las quebradas que drenan este costado. Al norte de él se encuentra el sitio para el embalse del acueducto de Vélez (quebrada El Batán).

Hay un segundo escalón hacia la cota 2300, relativamente angosto, que ha sido destruido parcialmente por el avance erosivo de la quebrada Palenque, modelando allí parte de su área receptora de aguas; también en menor medida por las cabeceras del cauce principal (sur) de la quebrada Las Flores, sirviendo de nacimiento de sus tributarios menores que hacia aguas abajo drenan hacia el barrio la Esperanza alto. No ha sido intervenido por el proceso erosivo de la quebrada La Lajita. Desaparece hacia el sur erosionado por la quebrada Laureles.

En la figura 51 se aprecia la Serranía La Paz – Chipatá – La Paz y vertientes del costado oriental donde se ubica el área urbana de Vélez que se le observa al fondo. Horizontalmente y con el color verde claro de los usos en potreros, se observa la secuencia de escalones topográficos.

**Figura 51.** Serranía La Paz – Chipatá – La Paz.

Fuente: Elaboración Propia

Por debajo del anterior se encuentra el tercer escalón de la vereda El Amarillo, el cual está socavado y penetrado por el proceso de erosión remontante de las quebradas Palenque - Las Lajitas y Las Flores, bajo dos modalidades.

- En el caso de las dos primeras, han quedado las amplias concavidades de antiguos procesos erosivos. Es así como el accionar erosivo de la quebrada La Lajita termina interviniendo el escarpe o talud vertical de este escalón de aproximadamente 30 - 40 de alturas, mientras que el accionar erosivo del ramal sur de la quebrada Palenque dió lugar a procesos de erosión remontante modelando una amplia concavidad que se prolonga aguas arriba hasta erosionar el pié del escalón dos que está soportado en estrato calizo cuya cornisa se percibe en la parte alta de la Serranía (Figura 50).

La plataforma de este escalón se prolonga hacia el norte donde existe un área topográficamente atractiva para traslados poblacionales de ser el caso, paraje que se conoce como La Unión.

- En el caso de la quebrada Las Flores, el accionar erosivo de esta sobre el tercer escalón (El Amarillo) ha sido muy activo pero muestra un patrón diferente.

Esta microcuenca consta de un drenaje principal sur rectilíneo y tres afluentes menores también rectilíneos, paralelos entre sí, disectando el talud vertical o escarpe del escalón y por entre cuyos muy estrechos valles de paredes pendientes descienden estas corrientes de agua que muestran la estratificación lutítica y que desembocan hacia angostos cauces que se centran en el amplio fondo de valles que finalmente confluyen en la plataforma del siguiente escalón.

En la figura 52, detrás de la edificación se observa concavidad provocada por el proceso de erosión remontante de la quebrada El Palenque, en el escarpe del Escalón El Amarillo. El escarpe de erosión se le conserva arborizado.

**Figura 52.** Escarpe del Escalón El Amarillo.



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 53 se muestra la diferencia de estilo en los procesos de erosión de las quebradas La Lajita y Palenque (parte centro izquierda de la foto) de la que presenta la quebrada Las Flores (área arborizada en la parte centro superior de la foto).

**Figura 53.** Diferencia de estilo en los procesos de erosión.

Fuente: Google Earth.

Considerando un cuarto macroescalón, en su plataforma están los terrenos donde se encuentra construido el casco urbano (Figura 52); corresponde a una especie de meseta residual entre las corrientes de agua ya mencionadas, con remanentes hacia los costados norte y sur. Hacia este costado ha quedado muy arrasado por la profundización de las quebradas Palenque y La Lajita, que lo destruyeron, al punto de considerarse su continuidad con el escalón donde se construyó el barrio Santa Teresita. El espacio arrasado presenta un saliente del relieve que por su dureza ha resistido el accionar erosivo de estas quebradas separando las partes altas de estas dos quebradas, saliente del relieve donde en su tope se ubica la vereda El Amarillo. Hacia el sur del área urbana de Vélez se observan restos de este macroescalón ya muy destruido por el accionar erosivo de las quebradas La Gachita y El Batán.

En la figura 54 se aprecia el escalón inclinado donde se ubica el casco urbano de Vélez, con sus escarpes de erosión arborizados en su parte alta (contraescarpa al amarillo), la plataforma de este y más arriba, claramente el segundo escalón de la secuencia.

**Figura 54.** Escalón inclinado del casco urbano de Vélez.

Fuente: Elaboración Propia

El quinto macroescalón se extiende entre la quebrada Las Flores al norte y la divisoria de aguas con la quebrada Laureles al sur. Tiene un amplio retazo de características onduladas hoy ocupadas por barrios recientes e incluso las instalaciones del Sena, cuyo tope que se extiende hacia el sur hasta el borde donde caen cortas laderas hacia el valle de la quebrada Palenque – La Lajita, cuyo interfluvio lo corta centralmente mediante marcada ruptura geológica reciente. La plataforma del macroescalón continúa hacia el sur en condiciones de terrenos ampliamente escalonados con ligera caída hacia el nororiente en dirección del cauce de la quebrada La Lajita. Esta macroforma finaliza en la divisoria de aguas con la cuenca de la quebrada Laureles, cabeceras de la microcuenca en cuyas cabeceras se ubica el barrio Chapinero, tributaria de la quebrada La Lajita, antes de la confluencia de esta con la quebrada Palenque (Figura 55).

En la figura 55 se observa, a la izquierda, plataforma del escalón del Sena, incluidos más a su izquierda los terrenos más altos del contraescarpe del escalón de Vélez.

Este escalonamiento ha sido erosionado y profundizado por las redes hidrográficas que lo drenan, destruyéndolo de abajo hacia aguas arriba, habiendo afectado los más bajos de la secuencia, labor no concluida hasta ahora, dando lugar también a la aparición de diferentes geformas menores entre los entrantes y salientes del relieve, estando menos intervenidos los tres macroescalones de la parte alta.

**Figura 55.** Plataforma del escalón del Sena.

Fuente: Elaboración Propia

La labor de destrucción del relieve ha sido diferente por parte de las quebradas Las Flores y Palenque – La Lajita, conforme se describe en el capítulo de procesos morfodinámicos a continuación.

En el caso de las quebradas Palenque y La Lajita, la primera de esta ha destruido hacia sus cabeceras y lateralmente los cuatro macroescalones bajos de la secuencia ya mencionada, en tanto que la quebrada La Lajita ha erosionando los dos más bajos y los terrenos del costado sur de su microcuenca. El patrón de disección de estas dos quebradas tanto a lo ancho como en profundidad, en forma de amplias concavidades y comparativamente de mayor magnitud que en el caso de la quebrada Las Flores. En ese proceso rompió la continuidad entre la plataforma donde se ubica el centro de Vélez y el extremo sur del escalón donde se encuentra el barrio Santa Teresita.

- En el caso de la quebrada Las Flores, hacia las partes altas arriba del casco urbano de Vélez su cauce principal ha erosionado los 4 macroescalones más bajos de la secuencia ya descrita y levemente el de la cima, mientras que sus tres tributarios del costado norte solo han profundizado y erosionado el macroescalón 3 (El Amarillo) en su tramo más débil geológicamente mediante procesos de erosión superficial, abriendo angostas pero abiertas cañadas de cabecera por cuyo fondo descienden angostos cauces de agua que tienen continuidad hacia aguas abajo por

fondos de valles de características planas entre laderas lateralmente cóncavas hacia topes o salientes rocosos del relieve superficialmente meteorizados luego de suelos con sus horizontes pedológicos y que separan lateralmente tales valles de sección transversal en U a modo de hondonadas con caída hacia la plataforma del escalón donde se encuentra la parte principal de la ciudad.

Por su parte el cauce principal, al disectar la parte alta del escalón El Amarillo, ha modelado un amplio valle al sur del barrio Kennedy con presencia de coluviones que caen hacia los planes que se ubican al sur del extremo ídem de la carrera 8 con fuerte caída hacia los terrenos de la actual Plaza de Ferias, tramo donde hacia su costado sur se confina su cauce principal pasando bajo construcciones urbanas a la altura de la carrera 6 para girar hacia el nororiente y después del cruce del puente de la salida hacia Chipatá, descender en cascadas y sección transversal irregularmente triangular, habiendo excavado, en su proceso de erosión remontante, una amplia y profunda concavidad que compromete la estabilidad de los terrenos que la demarcan, seguido hacia aguas abajo de largo tramo de sección transversal regularmente triangular, con superficiales procesos de reptación que comprometen estos terrenos.

En la figura 56, hacia la parte alta y derecha se observa (arborizada) la amplia concavidad excavada por la quebrada Las Flores, comprometiendo terrenos a la derecha de la línea amarilla que indica la salida hacia Chipatá.

**Figura 56.** Concavidad excavada por la quebrada Las Flores.



Fuente: Google Earth



El proceso erosivo ha sido menos activo en los terrenos del contraeskarpe del macroescalón donde se encuentra la parte central de la cabecera municipal. Los drenajes dejaron marcas en sus entrantes de erosión en los bordes del mismo, como cabeceras de valles en U que la penetraron superficialmente por su costado oriental y sur, indicio del débil papel erosivo de estos pequeños tributarios de la quebrada Palenque y que han quedado colgados con respecto a esta por la mayor profundización de su cauce.

### **6.3. GEOFORMAS PRESENTES EN LOS TERRENOS DONDE SE UBICA EL ÁREA URBANA DE VÉLEZ**

En el proceso de identificación de las geoformas actualmente presentes y mecanismos que han intervenido, se considerarán cuatro escenarios, el eskarpe del escalón El Amarillo donde se ubican los terrenos de la parte alta u occidental del casco urbano, la plataforma del macroescalón donde se ubica el centro del casco urbano, el contraescalón de este o terrenos pendientes de la parte baja de la ciudad y la plataforma del quinto escalón que llamaremos escalón del Sena.

#### **6.3.1. Terrenos de la parte alta de Vélez (eskarpe del escalón El Amarillo)**

Acá se tendrán en cuenta las laderas o vertientes del eskarpe del macroescalón inmediatamente superior o El Amarillo (contraescalón), partes altas de la cabecera municipal, que se caracterizan por mostrar de arriba abajo un microescalonamiento estructural con gradas de diferente pero baja anchura y altura, afectado por severos procesos erosivos. Ese escalonamiento procede de la posición casi horizontal de los diferentes estratos geológicos observables a simple vista, dispuestos siguiendo las lineaciones horizontales del relieve, a modo de graderío, meteorizados hasta los 2 metros de profundidad, a veces suavizados por acción de la erosión de los mismos.

Es de resaltar que los bordes superiores de este escalón, debido a la profundización o disección por parte de la red hidrográfica de la quebrada Las Flores y Palenque – La Lajita, ha dado lugar a la presencia de reborde casi horizontal de tipo festoneado, delimitando superiormente los escarpes y cicatrices de despegue identificadas en el mapa geomorfológico.

Es así como desde el pie de este eskarpe, arriba de la carrera 5ª, se alzan terrenos inclinados o pendientes, afectados por los procesos de disección, erosión y acumulación de derrubios tanto por parte del cauce principal de la quebrada Las Flores como por sus tributarios del costado norte. Hacia el sur de este sector cambia el patrón de disección atribuible a las quebradas Palenque y Las Lajitas, que lo han sido en ambos casos por amplios ensanchamiento cóncavos afectando el cuerpo del escalón. En el caso de este contraescalón, planteando como un escenario inicial el de tratarse de laderas dispuestas en escalinatas, dicha configuración se conserva en algunas partes mientras que en otras ha sido borrada como consecuencia de los procesos erosivos que afrontan en esta parte del relieve. De norte a sur se pueden identificar los siguientes sectores geomorfológicos.



**6.3.1.1. Entrante de la cárcel y campo de futbol el campín**

Este escenario corresponde a las laderas pendientes con caída hacia la cárcel y cancha de futbol. Allí, hacia la parte alta se encuentra un amplio entrante del relieve donde por proceso de remoción en masa se perdió la secuencia en escalinata del escarpe del escalón El Amarillo entre la punta donde hacia el sur se viene consolidando el barrio Los Cerezos y la punta o saliente del relieve donde hacia su costado sur se ubica el Barrio Esperanza alto. En dicho entrante se han producido posteriores y recientes movimientos de remoción en masa hacia las partes altas de la Cárcel.

Acá se presenta la falta o interrupción de dicha estratificación en el sentido horizontal de esta disposición estructural del relieve que corresponde al vacío dejado por proceso de remoción en masa (Figura 57).

**Figura 57.** Entrante de la cárcel y campo de Futbol El Campín, entrante del relieve con caída hacia la cárcel municipal.



Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.1.2. Digitación inclinada o contrafuerte al norte de la calle 13

Este inclinado saliente del relieve separa los terrenos del entrante de la cárcel con la concavidad donde se asiente el barrio Esperanza Alto. Tiene caída hacia la vía de salida a Chipatá donde cae en corte escarpado hacia esta, donde fue cortado en cajón para el paso de esta vía.

Es un longitudinal e inclinado lomo de cuerpo en roca, suelos residuales conteniendo pocos y pequeños fragmentos rocosos y horizontes orgánicos superficiales completos.

Se compone de laderas con lineamientos horizontales en su cabecera, seguido de un sector explanado antrópicamente y escarpes en su parte baja.

En la figura 58 se observa una calle en descenso por el tope de la digitación inclinada paralela metros al norte de la calle 13, cortes efectuados sobre suelo residual y horizonte orgánico superficial que se le observa a la izquierda.

**Figura 58.** Digitación inclinada al norte de la Calle 13.



Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.1.3. Valle del barrio la Esperanza Alto

Corresponde a la hondonada de la calle 13ª, entre digitaciones inclinadas, laterales y estables que emergen a ambos costados de esta empinada vía urbana, cuyos suelos fueron removidos para la construcción de vivienda urbana de 2 y 3 pisos, sector que fue disectado por tributario rectilíneo que probablemente descendía siguiendo esta calle hasta confluir en la quebrada Las Flores, cauce que desapareció acá y en los terrenos del escalón de Vélez.

En la figura 59 se observa el fondo de hondonada o de valle de la calle 13, cuyos suelos y sistema de drenaje natural fueron removidos para las construcciones de vivienda del barrio Esperanza Alto de la tipología observada en la imagen.

**Figura 59.** Fondo de valle del Barrio la Esperanza Alto.



Fuente: Elaboración Propia

#### 6.3.1.4. Digitación inclinada costado sur barrio La Esperanza Alto

Saliente del relieve que separa la concavidad donde se asiente el barrio Esperanza Alto y el valle intermedio entre las calles 12 y 13, con caída detrás del barrio La Esperanza bajo (carrera 6ª). Es un longitudinal e inclinado lomo de cuerpo en roca, suelos residuales conteniendo pocos y pequeños fragmentos rocosos y horizontes orgánicos superficiales completos. Tiene edificaciones, la mayor parte de ellas hacia el costado norte de su lomo, deficientemente cimentadas. Es posible que en su extremo inferior de entrega al macroescalón de Vélez, haya sido explanado en parte y en parte sea receptor de derrubios antrópicos.

En la Figura 60 se aprecia el camino deteriorado descendiendo por el tope de la digitación inclinada del costado sur del barrio La Esperanza Alto, sobre suelos residuales.

**Figura 60.** Digitación inclinada del costado sur del barrio La Esperanza Alto.



Fuente: Elaboración Propia

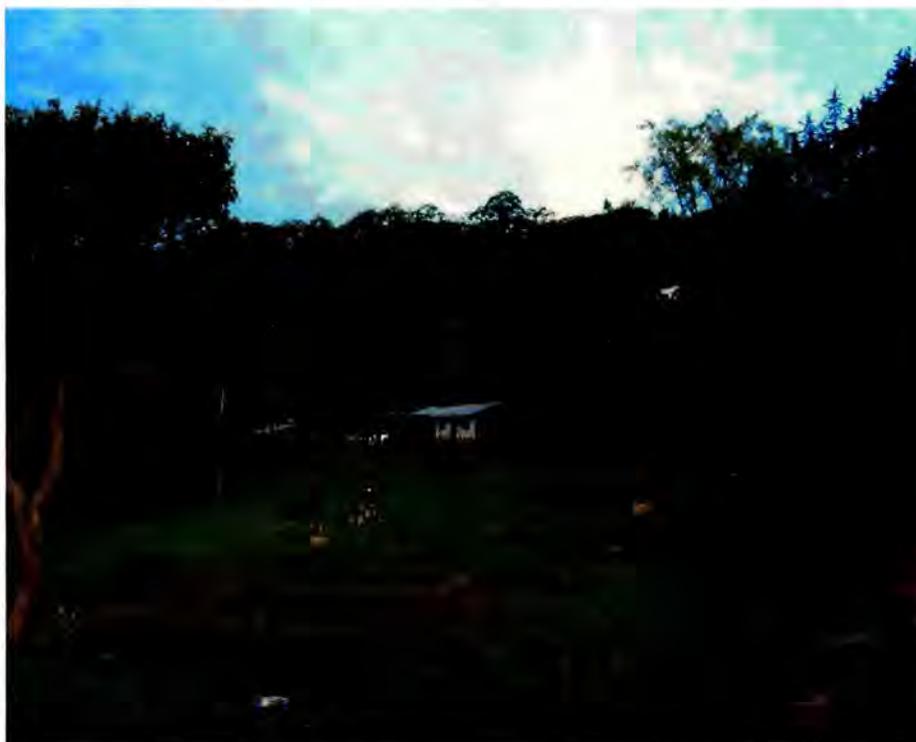
### 6.3.1.5. Valle intermedio entre calles 12 y 13

Amplio valle de fondo plano de suelos arcillosos, desaturados, nivel freático superficial, con laterales vertientes cóncavas hacia salientes del relieve de tope meteorizado. Hondonada al final de la misma confinada por coluvión antes del cruce de la carrera sexta, de fondo de valle con ondulaciones y con centrales, angostos y poco profundos coluviones húmedos siguiendo las líneas de drenaje concentrado (riachuelos), desembocando hacia terrenos removidos que caen hacia las viviendas del barrio La Esperanza Bajo (costado occidental de la carrera 5ª), haciendo confluencia común con el valle del barrio La Esperanza alto, por explanaciones y o depósito de derrubios antrópicos, como se indicó anteriormente.

En la figura 61 se muestra la cabecera norte del valle intermedio entre las calles 12 y 13 de cabeceras arborizadas (escarpe de erosión), suelos muy intervenidos antrópicamente.

En la figura 62 se aprecia la parte baja del fondo de valle entre las calles 12 y 13 con las características de coluvión y suelos saturados en los suelos aledaños al drenaje principal. Los sauces que se observan son indicadores de este tipo de condiciones edáficas

**Figura 61.** Cabecera norte del valle intermedio.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 62. Fondo de valle entre las calles 12 y 13.



Fuente: Elaboración Propia

**6.3.1.6. Digitación inclinada de la calle 12**

Saliente del relieve que separa el valle intermedio entre las calles 12 y 13 y los terrenos del valle principal de la quebrada Las Flores. Es apenas perceptible en su parte baja, alto y masivo en su parte alta de laderas con lineamientos horizontales en sus cabeceras, presencia de Saliente del relieve que separa el valle intermedio entre las calles 12 y 13 y los terrenos del valle principal de la quebrada Las Flores. Es apenas perceptible en su parte baja, alto y masivo en su parte alta, de laderas con lineamientos horizontales en sus cabeceras, presencia de escalón intermedio entre esos dos componentes con explanaciones individuales para vivienda suburbana. Es un longitudinal e inclinado lomo de cuerpo en roca, suelos residuales conteniendo pocos y pequeños fragmentos rocosos y horizontes orgánicos superficiales completos. Muestra coluvión en su parte baja que confina la parte baja del valle intermedio entre las calles 12 y 13.

En la figura 63 se observa el deteriorado camino descendiendo por el tope de la digitación inclinada del costado norte de la calle 12, hacia esta calle, construido interviniendo suelos residuales.

**Figura 63.** Digitación inclinada del costado norte de la calle 12.



Fuente: Elaboración Propia

#### 6.3.1.7. Valle de la quebrada Las Flores

Corresponde a los terrenos aledaños a la quebrada Las Flores entre la digitación inclinada de la calle 12 al norte y digitación inclinada del barrio Kennedy al sur. Comprende los sectores altos del contraescalón El Amarillo, disectados por la corriente de agua de la quebrada Las Flores y sus tributarios inmediato del costado norte, con la presencia de entrantes y salientes del relieve, a modo de contrafuertes en condiciones de laderas pendientes con lineamientos horizontales dominando el amplio valle, con presencia de coluviones hacia los cauces de sus entrantes y su cauce principal; también con una amplia cicatriz de movimiento de remoción en masa que cae hacia la vía que sube hacia la vereda El Amarillo y cuyos derrubios han sido arreglados en explanación antrópica. El fondo de valle dominado por las anteriores geoformas tiene características de plano inclinado insinuando la estratificación lutítica, superficialmente con ondulaciones y con centrales coluviones de características sobresaturadas en los terrenos aledaños a las líneas de drenaje concentrado (riachuelos), terrenos que en su conexión con el escalón de Vélez fueron removidos y explanados para la construcción de las manzanas ubicadas por arriba de la carrera 6ª (figuras 64 y 65).

En la figura 64 se observa la cabecera arborizada (escarpe de erosión) y entrante norte (coluvión de fondo) hacia el valle de la quebrada Las Flores.

En la figura 65 se aprecia la cabecera principal del valle de la quebrada Las Flores, de fondo de valle con características de coluvión y salientes del relieve microescalonado siguiendo las lineaciones de la estratificación lutítica, protegidos con vegetación arbórea.

**Figura 64.** Valle de la quebrada Las Flores.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 65.** Cabecera principal del valle de la quebrada Las Flores.



Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.1.8. Digitación inclinada del barrio Kennedy

Esta digitación es el flanco norte de la faceta triangular El Amarillo; proviene del tope de esta. Por su costado sur se ubica el valle principal de la quebrada Las Flores. Las edificaciones existentes entre las calles 11 y 11<sup>a</sup> con carreras 7 y 8, están construidas sobre este saliente de terrenos rocoso (lutitas) muy meteorizado, de tope con suelo residual y horizonte pedológico superficial, sin que se observen terrenos del fondo de su valle por este costado, posiblemente ocupado por rellenos de materiales provenientes del tope explanado para las construcciones urbanas.

En la figura 66 se observan, al fondo, las edificaciones de la parte alta del barrio Kennedy, sobre el lomo o tope de la digitación entre las calles 11 y 11<sup>a</sup>, margen derecha de la quebrada Las Flores cuyo cauce pasa por lo hondonada del carreteable de salida hacia la carrera 8, donde están parqueados los vehículos.

**Figura 66.** Digitación inclinada del Barrio Kennedy.



Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.1.9. Altos del barrio Aquileo Parra

Acá se tienen en cuenta los terrenos al sur de la calle 11, arriba de la carrera 6a. Comprende un sector alto, escarpado y disectado por corrientes de agua con presencia de entrantes y salientes verticales que rematan en el borde del macroescalón El Amarillo, hacia donde se asciende por carreteable altamente pendiente hasta el punto culminante de antigua y derruida faceta triangular, en cuyo tope se insinúan desplazamientos superficiales del suelo hacia las partes bajas. Estos entrantes y salientes de laderas con lineamientos horizontales de la cara de la faceta triangular desembocan a terrenos de aguas abajo, los primeros a modo de coluviones (ver figura 67) que confluyen a plano inclinado de superficie suavemente ondulada y con coluviones siguiendo en las líneas de drenaje y aledaños suelos superficiales arcillosos, humectados casi permanentemente.

En la figura 67 se muestra el coluvión procedente de entrante del relieve hacia la Faceta Triangular El Amarillo.

**Figura 67.** Altos del barrio Aquileo Parra.



Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.1.10. Digitación inclinada del barrio América India

Saliente vertical inclinado (Figura 68), componente sur de la derruida faceta triangular El Amarillo con caída por este costado hacia la quebrada El Palenque. Es un saliente del relieve de cuerpo en roca, con suelos residuales y horizontes desarrollados pedológicamente. En su parte baja donde se construyó el barrio y en los terrenos aún más bajos, se le intervino con cortes y escalones planos utilizados para la construcción de viviendas. En el caso barrio América India, las edificaciones en terrenos con caída hacia la quebrada Palenque, vienen siendo amenazados por el proceso de erosión remontante de esta quebrada (entrante de erosión).

En la figura 68 se observa, al fondo a la izquierda, la digitación inclinada en posición alta con respecto al barrio América India a la derecha, y a la derecha el casco urbano de Vélez.

**Figura 68.** Digitación inclinada del barrio América India



Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.1.11. Concavidad en cuenca de la quebrada Palenque

Amplio y profundo entrante del relieve abierto por la quebrada Palenque, de paredes verticales en sus cabeceras (escarpe vertical), laderas con lineamientos horizontales más pendientes al final del valle y fondo de valle con lineamientos horizontales mostrando la estratificación lutítica, con microescalones húmedos y fácilmente erosionables. Hay humedales en las partes más planas. Es de suelos superficiales de poco desarrollo pedológico tanto en los terrenos de fondo de estos valles cóncavos como en sus vertientes laterales. Hay ladera cóncava en proceso de reptación que amenaza las edificaciones del costado sur del barrio América India.

En la figura 69 se aprecia la amplia concavidad del tributario principal de la quebrada Palenque que cruza horizontalmente la parte central de la foto. Al fondo se observa la plataforma del macroescalón el Amarillo, a la derecha la cabecera, arborizada con arrayanes. Terrenos del fondo de valle y laderas con los lineamientos y microestratificación de capas lutíticas.

**Figura 69.** Concavidad en cuenca de la quebrada Palenque.



Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.1.12. Punta de interfluvio entre las quebradas Palenque y la Lajita

Corresponde a Faceta vertical triangular de carácter rocoso con vista al oriente, de laderas pendientes con lineamientos horizontales, con meteorización superficial y con salientes o lineamientos verticales rocosos por erosión de sus paredes, conservando los lineamientos horizontales de la estratificación lutítica. Su base ha sido explanada para la construcción de viviendas al borde de vía de salida hacia Landázuri (Figura 70).

En la figura 70 se observan las laderas muy pendientes de la Faceta Triangular en la punta del interfluvio que separa las quebradas Palenque al norte y La Lajita al sur.

**Figura 70.** Punta del interfluvio entre las quebradas Palenque y La Lajita.



Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.1.13. Cabeceras de la quebrada La Lajita

Concavidad por entrante del proceso de erosión remontante de esta quebrada y que solo llegó hasta el escarpe o contraescalón del macroescalón El Amarillo; en otras palabras, son las cabeceras de la quebrada La Lajita. Consta de escarpes casi verticales hacia las partes altas de la concavidad, seguida hacia aguas abajo de laderas medianamente pendientes donde se observa la estratificación lutítica suavizada por la erosión superficial, muy afectadas con terracetos de ganado. Se observan cabeceras de superficiales movimientos de masa hacia el cauce principal y hacia las partes altas de la concavidad. Tiene tendencia a la reptación y deslizamientos superficiales. Hacia su parte alta remata en las orillas que hacen parte del festoneado que sirve de borde inferior del escalón El Amarillo.

En la figura 71 se aprecian las laderas donde se observa la estratificación lutítica, suavizada por la erosión superficial, muy afectada con terracetos de ganado. Cabeceras de superficiales movimientos de masa hacia el cauce principal y hacia las partes altas de la concavidad.

Figura 71. Cabeceras de la quebrada La Lajita.



Fuente: Elaboración Propia

#### 6.3.1.14. Faceta triangular de Santa Teresita

Graderío estructural meteorizado, semiborrado y derruido por la erosión de estos escalones. Tiene forma de faceta triangular con su base siguiendo la vía de salida hacia Landázuri, hacia el escalón del barrio Santa Teresita. Posee laderas con lineamientos horizontales propios de la estratificación lutítica y escalones intermedios inclinados en el mismo sentido del relieve.

En la figura 72 se observa, a la izquierda, el Barrio Santa Teresita; a su lado derecho las dos facetas triangulares consecutivas, ya muy deterioradas de la punta entre las quebradas Palenque y La Lajita y la faceta triangular de Santa Teresita, con caída hacia el escalón topográfico donde se construyó este barrio

**Figura 72.** Faceta triangulas de Santa Teresita.



Fuente: Elaboración Propia



### 6.3.2. Terrenos de la plataforma del escalón de Vélez

Como ya se dijo anteriormente, el área urbana donde se asienta la parte central de Vélez está construida sobre la plataforma del erosionado escalón 4 de la secuencia descrita. Dicha plataforma está inclinada hacia el oriente, disectada al norte por la quebrada Las Flores y al sur por las quebradas Palenque – La Lajita, con continuidad hacia el sur hasta el escalón estructural meteorizado donde se construyó el barrio de Santa Teresita, continuidad que se ha venido perdiendo por el accionar erosivo de las quebradas Palenque – Las Lajitas hoy ocupada por el fondo de valle que las separa. De norte a sur se pueden identificar los siguientes sectores geomorfológicos.

#### 6.3.2.1. Terrenos de la cárcel – barrio San Luis

Es un retazo del macroescalón de Vélez. Estos terrenos se encuentran en la vía de salida hacia Chipatá. Constan de una cabecera a tendencia plana pero con ligera concavidad, inclinación y drenaje hacia el sur, que luego se convierte en una menos ancha y pronunciada concavidad con caída hacia el cauce de la quebrada Las Flores. El espacio donde queda el campo de fútbol parece estable, mientras que los terrenos localizados hacia las partes bajas donde se ubica la cárcel, el cementerio y el barrio San Luis, de normal desarrollo de sus suelos residuales y horizontes orgánicos superficiales. Presenta proceso de lento corrimiento de los suelos superficiales, dadas las características geomecánicas de estos suelos, manejo de aguas y poca profundidad de las cimentaciones. Seguramente continuarán los procesos de reptación o movimiento superficial del suelo, afectando significativamente las edificaciones del barrio San Luis y comprometiendo parte de las instalaciones del cementerio (Figura 73), por las razones antes anotadas. No son de descartarse el tratarse de construcciones sobre rellenos antrópicos.

#### 6.3.2.1. Contrafuerte de la calle 13

Este saliente del relieve separa los terrenos de la Cárcel municipal de los de carácter plano de la Plaza de Ferías y barrio Villa Campestre. Es la parte final del ya descrito como digitación inclinada del costado norte del barrio Esperanza Alto. En su tope hay una cancha de básquet y en su parte baja aparece con corte en cajón a fin de permitir el paso de la vía a Chipatá. Son terrenos estables.

En la figura 73 se aprecia un tramo en proceso de hundimiento, que puede agravarse aún más por el mal manejo de las aguas superficiales.

**Figura 73.** Tramo en proceso de hundimiento.

Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.2.2. Terrenos planos de la plaza de ferias

Hoy es un área plana hacia la que drenan aguas de la quebrada Las Flores delimitándolos por su costado sur y recetora de tributarios del costado norte de esta, transformada en plano antrópico al haber sido rellenada con tierras de préstamo de bajas propiedades geomecánicas (de origen lutítico), tapando riachuelos provenientes de los valles en U que le confluyen.

Su potencial recarga con estas aguas, incluidas las de orden climático, convierten esta zona en área en proceso de fluidez y reptación hacia la quebrada Las Flores en un muy lento pero activo movimiento de suelos especialmente en los períodos invernales, afectando las edificaciones de la salida hacia Chipatá. Consta de unas cabeceras en forma de talud de derrumbios antrópicos y un amplio plano antrópico con reptación secundaria.

**Figura 74.** Terrenos planos de la plaza de Ferias. Relleno antrópico.



Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.2.3. Cauce de la quebrada Las Flores

Esta quebrada desciende por el costado sur del área urbana actual, pasando por debajo de la calle 6ª; continúa confinada y poco profundizada a su paso por la plataforma de la terraza, sin los atributos naturales a consecuencia de los arreglos antrópicos propios de esta parte del área urbana (Figura 75) Hacia su margen izquierda se tienen terrenos que descienden desde el escalón antrópico de la Plaza de Ferias, especie de vertedero de derrubios en proceso de reptación siguiendo el cauce de la quebrada Las Flores, con características de activo coluvión antrópico.

En la figura 75 se observa el cauce de la quebrada Las Flores que pasa siguiendo la arboleda que va por detrás de la plaza de Ferias, con terrenos en posible desplazamiento en dirección de esta quebrada.

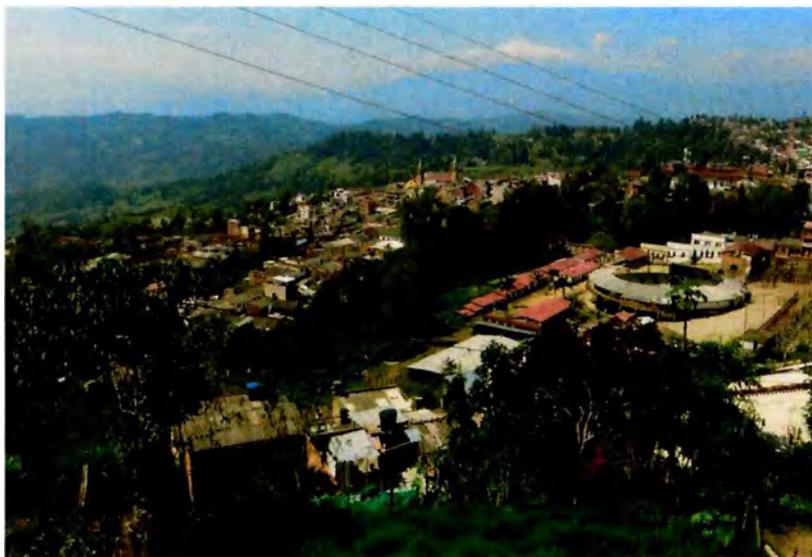
### 6.3.2.1. Digitación de la calle 12

Tope lineal en descenso hacia el oriente. Superficialmente es de suelos residuales y horizonte pedológico completo, a veces con superficiales derrubios gravitacionales. Geoforma lineal de tope convexamente redondeado, con edificaciones a lado y lado de la calle 12 que la recorre longitudinalmente en fuerte descenso. Contiene explanaciones conforme al desarrollo de las viviendas construidas (figuras 76 y 77).

En la figura 76, se observa, a la derecha del casco urbano, la digitación de la calle 12, hacia recientes unidades residenciales ubicadas sobre el macroescalón del Sena.

En la figura 77 se aprecia la calle 12, construida sobre el tope de la digitación que descende hacia el macroescalón del Sena.

**Figura 75.** Cauce de la quebrada Las Flores.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 76.** Digitación de la calle 12.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 77. Calle 12.



Fuente: Elaboración Propia

#### 6.3.2.2. Meseta de Vélez

Terrenos donde se asienta el centro del casco urbano. Aunque acá se le considere como un ancho escalón inclinado hacia el oriente, posee notables resaltes horizontales casi borrados por las explanaciones para calles y edificaciones.

En sus costados sur y occidental (hacia sus partes bajas) tiene entrantes de erosión, festoneándola por estos costados, como resultado de antiguos procesos de erosión remontante hacia ella, de corrientes de agua tributarias de la quebrada Palenque, inactivas actualmente por el freno que impone el proceso urbanístico de la ciudad.

En la figura 78 se muestra la Meseta de Vélez. Hacia su parte alta se aprecia el macroescalonamiento destacándose por su alineamiento rectilíneo la plataforma del macroescalón El Amarillo y la faceta triangular cayendo hacia el área urbana.

A su izquierda se observa la faceta triangular que separa las quebradas La Lajita – Palenque.

**Figura 78. Meseta de Vélez.**

Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.2.3. Valle de las quebradas Palenque – La Lajita

Hacia el sur del área urbana se ubica el valle de las quebradas Palenque- La Lajita. Dicho valle, que rompió la continuidad del escalón de Vélez hacia el sur, se encuentra a un nivel topográfico más bajo si se le compara con el de la quebrada Las Flores. Incluso hay un importante desnivel entre él y la plataforma donde se ubica la parte central de Vélez. Este interfluvio está ocupado con edificaciones urbanas sobre tierras de baja pendiente de suelos de lutitas con su característica estratificación próxima a la horizontal (). Tiene coluviones laterales.

En la figura 79 se aprecia, en primer plano, después de la alta edificación, el fondo de valle de las quebradas Palenque – La Lajita. Atrás la meseta de Vélez, a su derecha el contraescalón con caída hacia el macroescalón del Sena que se insinúa hacia la derecha de la foto.

**Figura 79.** Valle de las quebradas Palenque – La Lajita

Fuente: Elaboración Propia

**6.3.2.4. Escalón del barrio Santa Teresita**

Ancho escalón inclinado hacia el norte. Su costado occidental es la base de la faceta triangular modelada sobre el escarpe del escalón El Amarillo. Hacia el borde oriental se construyó el barrio Santa Teresita. Es un retazo del escalón de Vélez. Se distinguen tres niveles, el más alto suroccidental, el intermedio al norte de la calle 4 y el inferior con caída hacia la quebrada La Lajita; son más bajos por remoción de la estratificación lutítica superficial, de modo que las construcciones existentes están fundadas en suelos residuales de la estratificación lutítica local (figura 80). Su vertical talud hacia la vía que viene de Barbosa se le observa muy meteorizado, con alta propensión a movimientos de remoción en masa.

En figura 80 se muestra la vista hacia el sur del escalón del barrio Santa Teresita. A la izquierda de la foto se aprecia el escalón del Sena, separados por el contraescarpe escalonado.

**Figura 80.** Escalón del barrio Santa Teresita.

Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.3. Terrenos (escarpes) de la parte baja del escalón de Vélez

Lo que es el escarpe del macroescalón de Vélez, aparece erosionado en su costado norte por la quebrada Las Flores y también hacia sus partes bajas (costados oriental y sur) por antiguos entrantes de erosión, modelando cabeceras de valles en U. El entrante de erosión más importante la fraccionó en lo que es la digitación de la calle 12 al norte y el cuerpo principal de la meseta al sur, separadas por el valle de la quebrada o caño Los Naranjos. Sus partes bajas muestran los lineamientos casi horizontales de la estratificación lutítica afectada por la erosión; hacia el sur se tiene el ancho valle de las quebradas Palenque-La Lajita que arrasó los terrenos respectivos mientras que más al sur de este se prolonga en forma de graderío estructural superficialmente erosionado y muy intervenido con vías y construcciones laterales a estas. De norte a sur se pueden identificar los siguientes terrenos geomorfológicos.

### 6.3.3.1. Gran concavidad de la quebrada Las Flores

Después del cruce del puente de la salida hacia Chipatá, la quebrada Las Flores desciende por estrecho cauce, de fondo en cascadas, presentando en conjunto fuerte ruptura de pendiente. En su proceso de erosión remontante ha excavado y destruido laderas por su costado norte hacia terrenos provenientes del Cementerio y barrio San Luis, dejando gran concavidad con un escarpe casi vertical de 90 -95 metros de altura con respecto a estos. Hacia su cauce caen muy lentamente terrenos sobre los que se asientan las construcciones ya indicadas a propósito del macroescalón de Vélez, con la dinámica de coluvión activo (coluvión antrópico). Por su costado opuesto, atacó y destruyó la parte central del valle triangular que acompañaba la digitación de la calle 12 y que le tributaba en la parte final de esta, cuyos escarpes de disección aún se conservan en los tramos aún no destruidos de este valle.

En la figura 81 se aprecia la gran concavidad abierta por la quebrada Las Flores con vista hacia el Cementerio construido sobre el tope del este alto escarpe labrado por esta quebrada.

**Figura 81.** Cañón abierto por la quebrada Las Flores.



Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.3.2. Estribaciones de la digitación de la calle 12

En su costado norte existe un amplio valle triangular adosado a ella, el cual fue objeto de ruptura en su parte central con vertimiento (captura) hacia la quebrada Las Flores y consecuente aparición de escarpe de derrubios hacia este costado.

En la figura 82 se observa el amplio valle de sección transversal anchamente triangular, adosado a las estribaciones del costado norte de la digitación de la calle 12.

**Figura 82.** Costado norte de la digitación de la calle 12.



Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.3.3. Valle de la quebrada o caño Los Naranjos

Se formó por el proceso de erosión remontante de la corriente que hubo de existir entre la digitación de la calle 12 y el costado sur de la plataforma del casco urbano, dando lugar a un valle en U amplia y con frente de avance hacia el área urbana, en bajos del barrio Las Nieves. Desde allí nace este riachuelo que luego de largo recorrido, entrega sus aguas a la quebrada Palenque. Es un valle colgado con respecto a esta, que emite incluso entrantes de erosión hacia la meseta de Vélez. Sus cabeceras han sido objeto de relleno para la apertura de la carrera 2 desde la parte principal de la ciudad hacia la calle 12.

En la figura 83 se aprecia la hondonada hacia las cabeceras de la quebrada o Caño Los Naranjos, las cuales han sido objeto de relleno para la apertura de la carrera 2 desde la parte principal de la ciudad hacia la calle 12 que se le observa al fondo.

**Figura 83.** Valle de la quebrada o Caño Los Naranjos.



Fuente: Elaboración Propia.

#### 6.3.3.4. Escarpes de la meseta de Vélez

Las orillas de la parte baja de la plataforma urbana muestra hacia el oriente y hacia el sur, sucesivos bordes cóncavos hacia tales direcciones, que corresponden a cabeceras de entrantes de erosión que se proyectan hacia aguas abajo en forma de valles cóncavos, dando lugar a una especie de festoneado de las márgenes ya indicadas, indicando antiguos procesos de erosión regresiva o remontante hacia la plataforma urbana, destacándose los que ascienden hacia las calles 8, 9 y 10 y entre las carreras 5 y 6. Puesto que se encuentran a una altura más elevada con respecto a los fondos de valle de las quebradas ya citadas (saltos o rupturas verticales del relieve) han quedado colgados; se le presume debido a algún levantamiento tectónico reciente.

Hacia las partes bajas orientales de este escarpe entra las digitaciones ya reseñadas se tienen vertientes de modelado con tendencia a ser ampliamente convexo, alcanzándose a observar los lineamientos casi horizontales de la estratificación lutítica como si se hubiese borrado su topografía original escalonada, sea por procesos erosivos naturales, sea por cultivado de sus suelos (Figura 84). Se observan superficiales procesos de reptación del suelo.

En la figura 84 se observa, en primer plano hacia la derecha, un escarpe de modelado ampliamente convexo, observándose los alinamientos horizontales de los paquetes lutíticos de la roca madre, afectados por las terracetas debidas al pastoreo del ganado. Su inclinación hacia la derecha (hacia el Oriente), contrasta con el graderío estructural al pie del escalón del barrio Santa Teresita que se observa al fondo.

**Figura 84.** Escarpes de la meseta de Vélez.

Fuente: Elaboración Propia

**6.3.3.5. Interfluvio de las quebradas Palenque y La Lajita**

Ancho espacio de baja pendiente entre las quebradas Palenque al norte y La Lajita al sur, en espacio con ocupación en potreros. Es continuidad del amplio valle abierto por el proceso de profundización de estas dos quebradas; está más profundizado con respecto al del escalón de Vélez, por remoción de capas de la estratificación lutítica superficial; las construcciones existentes están fundadas sobre suelos residuales del componente respectivo de la estratificación lutítica local. Lateralmente hacia el cauce de la quebrada Palenque se encuentran coluviones conteniendo gruesos fragmentos rocosos, en tanto que el cauce de la quebrada La Lajita se viene profundizando en el relieve formando un valle de disección.

En la figura 85 se aprecia el interfluvio entre las quebradas Palenque – La Lajita, al fondo del relieve observable hacia la parte centro derecha de la foto (casa de techo rojo) y edificaciones urbanas que se insinúan a su izquierda. Al fondo la Meseta de Vélez.

**Figura 85.** Interfluvio entre las quebradas Palenque – La Lajita.

Fuente: Elaboración Propia

**6.3.3.6. Graderío estructural intervenido**

Corresponde en su parte más alta al escarpe o contraescalón del escalón del barrio Santa Teresita en dirección hacia aguas abajo hasta donde se presenta el cambio de pendiente que determina el escalón del Sena (Figura 86). Las gradas de este relieve residual han sido aprovechadas para vías, entre ellas la salida hacia Barbosa y para barrios lineales a borde de vía. Este escalonamiento ha sido objeto de erosión superficial y de profundización también superficial de tributarios menores de la quebrada La Lajita, que han sido obstruidos y tapados por las construcciones viales, laterales taludes de relleno y las mismas edificaciones de borde de vía, generándose sectores con sobrehumectación de los suelos sueltos vertidos hacia el talud externo de la carretera, sobre los que también se han levantado mal cimentadas edificaciones que no soportan los esfuerzos y movimientos diferenciales del suelo. Hacia la parte alta posee alto y vertical talud en cuyo tope se construyó el barrio Santa Teresita, con caída hacia la vía de salida a Barbosa (Barrio Ricaurte), con concavidad entrante pocos metros al norte del Aserrío Villamil que funciona en el borde y extremo sur del escalón del barrio Santa Teresita. Allí unos 10 - 12 metros abajo de la corona de la concavidad hay un nacimiento (aljibe) de aguas, que se activa en los períodos invernales y sobresatura los terrenos bajos obrando como si se tratase de un coluvión. Actualmente el talud vial de la citada vía, se le encuentra parcialmente estabilizado con muro anclado por parte del INVIAS.

En la figura 86, se observa, en el área arborizada de la parte central de la foto, el graderío estructural intervenido, dominando terrenos del macroescalón del Sena. Encima, en el plano de la antena el Escalón del barrio Santa Teresita.

**Figura 86.** Graderío estructural intervenido.



Fuente: Elaboración Propia

#### 6.3.3.7. Concavidad de entrante de erosión del riachuelo San Andresito

Entrante del relieve afectando laderas con lineamientos horizontales de la estratificación lutítica. Su cabecera se ubica en la divisoria de aguas hacia la quebrada Los Laureles pocos metros al sur del barrio Santa Teresita por la vía a las instalaciones de la Policía, con cicatriz de despegue (escarpe) en su cabecera, vertientes laterales escalonadas y estratificadas, fondo de valle plano que obra como humedal, con vertimientos hacia terrenos más bajos, en este caso en particular, hacia otro escalón posiblemente manejado con aguas de riego, superhumectando estos terrenos que luego caen hacia la carretera que va a Barbosa, con daños más abajo, en la carrera 22, con fuerte hundimiento de esta.

Estas aguas descienden alcanzándose a conformar una especie de coluvión lineal afectando edificaciones del lineal barrio San Andresito.

En la figura 87 se observa la cabecera semiraborizada con caída hacia humedal de fondo de concavidad de entrante de erosión de riachuelo que desciende hacia el barrio San Andresito de laderas conservando los lineamientos de la estratificación lutítica.

**Figura 87.** Concavidad de entrante de erosión del riachuelo San Andresito.



Fuente: Elaboración Propia

#### 6.3.4. Terrenos del escalón del Sena

Corresponde a los terrenos hacia los cuales cae la punta de la digitación de la calle 12 y los escarpes del escalón de Vélez. En su parte norte hace parte de la ancha y masiva plataforma delimitada entre la quebrada Las Flores al norte y Palenque al sur. Aquí la plataforma de este escalón es de relieve ondulado, limitada en su costado sur por el valle de las quebradas Palenque – La Lajita, existiendo indicios de antigua ruptura de punto de control (ruptura del borde aguas abajo del escalón) con respecto a su componente sur, donde se configura un sector de amplios escalones limitado hacia el occidente por los escarpes bajos del barrio San Andresito. De norte a sur se pueden identificar los siguientes sectores geomorfológicos.

#### 6.3.4.1. Valle de la quebrada Las Flores

Acá ésta quebrada que pasa profundizada por el costado norte del componente ídem del escalón del Sena, es de trazado lineal, modelando regularizadamente un valle en V de vertientes rectilíneas, altas, mostrando en ellas entrantes de erosión y procesos de remoción en masa de carácter superficial. El barrio Villa del Bosque va hasta sus orillas, sin tenerse en cuenta el retiro necesario contra posible movimiento del terreno hacia el cauce del mismo (Figura 88).

En la figura 88 se observa la margen derecha de la quebrada Las Flores, mostrando cabecera de proceso de remoción en masa, proceso activo desde bien abajo de Vélez, con influencia en sector sur del macroescalón del Sena.

**Figura 88.** Margen derecha quebrada Las Flores.



Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.4.2. Componente norte del escalón del SENA

Ancha plataforma que se extiende de norte a sur entre los bordes de la quebrada las Flores al norte y Palenque al sur, alta con respecta a estas, con caída rectilínea hacia la primera y atacada por el proceso erosivo de la segunda, donde muestra un boquete hacia esta quebrada, concavidad cuyo labio inferior u oriental muestra ruptura del escalón estructural que allí existió.

Es un sector de terrenos ondulados donde priman las anchas superficies planas, poco inclinadas o de baja pendiente sobre el lomo de la ancha digitación, sin drenajes que las profundicen hacia la quebrada Palenque, salvo el de la quebrada o caño Los Naranjos.

Posee superficialmente suelos residuales y horizonte pedológico completo. Contiene explanaciones antrópicas de recientes barrios residenciales y pequeñas cabeceras de valles colgados con caída hacia el cauce de la quebrada Las Flores.

En la figura 89, se observa, al fondo, el componente norte del macroescalón del Sena, con continuidad hacia los planos que aparecen a la derecha de la foto o componente sur del mismo macroescalón.

Figura 89. Componente norte del macroescalón del Sena.



Fuente: Elaboración Propia

#### 6.3.4.3. Interfluvio quebrada Palenque – Las Lajitas

Continuación hacia aguas abajo del ancho interfluvio de fondo de valle de las quebradas Palenque al norte y La Lajita al sur, ahora con las características de coluvión superficial en su parte baja y presencia de valle inundable hacia la margen derecha de la quebrada Las Lajitas.

En la figura 90, se observa, al centro, el detalle del ancho interfluvio Palenque – Las Lajitas, con las características de coluvión de fondo de valle.

**Figura 90.** Detalle del ancho interfluvio Palenque – Las Lajitas.



Fuente: Elaboración Propia

#### 6.3.4.4. Componente sur del escalón del SENA

Amplio retazo de terrenos suavemente inclinados hacia las partes bajas de la quebrada La Lajita, a modo de anchos y poco inclinados escalones con alta influencia antrópica, de bajos e inclinados saltos topográficos, manejados en pastos bajos, muy ligeramente disectados o profundizados por hilillos de agua, con presencia de un semihumedal en la parte media del principal drenaje de estos terrenos.

En la figura 91, se observa el componente sur del macroescalón del Sena, parte baja del barrio San Andresito, de mal drenaje superficial (nivel freático superficial).

**Figura 91.** Componente sur del macroescalón del Sena.



Fuente: Elaboración Propia

#### **6.3.4.5. Concavidad de cabeceras de la quebrada Chapinero**

En el extremo sur del escalón del Sena se identifica esta geoforma cóncava que inicia en la divisoria de aguas con la quebrada Los Laureles, delimitada en sus cabeceras, por la vía hacia el barrio Chapinero. Es de borde escarpado en sus cabeceras, con presencia de laderas con lineamientos horizontales hacia aguas abajo, centralmente destruido por concentración de flujos de agua que al saturar los suelos fluyen a modo de delgados y angostos coluviones, siguiendo el fondo de la concavidad a tendencia plana, donde se aprecia delgado coluvión de fondo de suelos pedológicamente hablando, hidromorfos, arcillosos y con horizonte orgánico superficial entre vertientes laterales que conservan los escalones y lineamientos aproximadamente horizontales de la estratificación lutítica, de incipientes horizontes pedológicos. El riachuelo de fondo, luego del cruce de la vía a Barbosa, prosigue por entre ancho valle de laterales laderas con lineamientos horizontales y fondo de valle anchamente cóncavo que en conjunto corresponde a valle colgado, dada la fuerte ruptura de pendiente (caída en cascada) que lo delimita y define aguas abajo

En la figura 92 se observan las cabeceras de la concavidad de la quebrada Chapinero, el ensanchado valle mostrando laderas con estratificación lutítica y el fondo de valle con delgado coluvión de fondo de suelos hidromorfos.

Figura 92. Cabeceras de la concavidad de la quebrada Chapinero.



Fuente: Elaboración Propia

### 6.4. MORFOGRAFÍA

La morfografía hace referencia a la forma de las laderas o a su modelado, función del substrato geológico, modificado por las acciones de orden climático que determinan el tipo de meteorización implicando el debilitamiento de la superficie de las rocas expuestas al intemperismo climático y la consecuente erosión por acción de la escorrentía e infiltración de las aguas en los primeros horizontes del suelo.

En el caso de las vertientes orientales del extremo sur de la Serranía de Vélez – La Paz, el macroescalonamiento analizado anteriormente da lugar a amplias gradas ligeramente inclinadas hacia el oriente en los espacios no afectados por los problemas de profundización de la red hidrográfica; ellas son de modelado rectilíneo. Los contraescarpes de los mismos muestran caras casi verticales también a tendencia rectilínea.

En el proceso de análisis del modelado de las geoformas actualmente presentes en el casco urbano de Vélez y sus alrededores, solo se considerarán los cuatro escenarios ya mencionados en el capítulo anterior, es decir, el escarpe del escalón El Amarillo donde se ubican los terrenos de la parte alta u occidental del casco urbano, la plataforma del macroescalón donde se ubica el centro del casco urbano, el contraescalón de este o terrenos pendientes de la parte baja de la ciudad y la plataforma del quinto escalón o escalón del Sena.

#### **6.4.1. Terrenos de la parte alta de Vélez**

Acá se tendrán en cuenta las laderas o vertientes del escarpe del escalón inmediatamente superior o El Amarillo, partes altas de la cabecera municipal, de las que se considera que inicialmente debía estar modelado en escalinatas angostas y poco altas entre una y otra (laderas en escalinata), al no estar afectados por el avance o profundización de las líneas de drenaje o por los procesos de avance de los frentes de erosión. Como estos ya han tenido ocurrencia, en las circunstancias actuales se observan los siguientes modelados.

##### **6.4.1.1. Entrante de la cárcel y campo de futbol El Campín**

Se le identifica como antiguo proceso de remoción en masa con caída hacia los terrenos de la cárcel y la cancha de futbol. Corresponde a una amplia concavidad de cabeceras de paredes casi verticales, de vertientes laterales (laderas) altamente inclinadas convexamente insinuando su estratificación lutítica ocultada por las terracetas debidas al pastoreo de ganado y depositación de derrubios en su costado sur, con características de coluvión de modelado ondulado (amontonado).

##### **6.4.1.2. Digitación inclinada o contrafuerte al norte de la calle 13**

Esta digitación con caída hacia la vía de salida a Chipatá delimita por el sur el valle donde se construyó el barrio Esperanza Alto. Es un longitudinal e inclinado cuerpo rocoso de amplio tope de modelado convexo en el que su sustrato lutítico ha sido objeto de las influencias climáticas de la región y consecuentemente presenta suelos residuales y horizontes orgánicos superficiales.

##### **6.4.1.3. Valle del barrio la Esperanza Alto**

Corresponde a la hondonada de la calle 13ª, con las características de estrecho valle en U, con vertientes laterales cóncavas hacia las digitaciones laterales que lo confinan, fondo de valle a tendencia plana, con acumulaciones arcillosas no muy espesas, cabeceras de laderas con lineamientos horizontales de la estratificación lutítica y que termina en su parte baja en las explanaciones y rellenos antrópicos de esta parte de la ciudad.

##### **6.4.1.4. Digitación inclinada costado sur barrio La Esperanza Alto**

Este saliente del relieve que separa la concavidad del barrio Esperanza Alto y el valle intermedio entre las calles 12 y 13; es otro longitudinal e inclinado cuerpo rocoso de amplio tope de modelado convexo en el que su cuerpo en roca ha sido objeto de las influencias climáticas de la región como son su meteorización y desarrollo de sus horizontes orgánicos superficiales.

##### **6.4.1.5. Valle intermedio entre calles 12 y 13**

Hondonada con las características de semiample valle en U, con vertientes laterales cóncavas hacia las digitaciones laterales que lo confinan, fondo de valle a tendencia plana, igualmente con acumulaciones arcillosas, cabeceras de laderas con lineamientos horizontales de la estratificación lutítica y que termina en su parte baja en las explanaciones y rellenos antrópicos de esta parte de la ciudad.



#### **6.4.1.6. Digitación inclinada de la calle 12**

Este saliente del relieve que separa el valle intermedio entre las calles 12 y 13 y los terrenos del valle principal de la quebrada Las Flores, es un longitudinal e inclinado cuerpo de amplio tope de modelado convexo en el que su cuerpo hacia la parte alta ha sido objeto de las influencias climáticas de la región, presentando suelos residuales y horizontes orgánicos superficiales, mientras que en su trayecto inferior presenta un escarpe casi vertical con fallas en su talud; en su parte baja apenas se insinúa en el relieve, presentando suelos de nivel freático alto.

#### **6.4.1.7. Valle de la quebrada Las Flores**

Corresponde a los terrenos aledaños a la quebrada Las Flores. En cuando a los sectores de su parte alta, disectados por la corriente principal y sus tributarios inmediatos del costado norte, los entrantes y salientes del relieve que se han modelado son laderas a tendencia rectilínea con lineamientos horizontales resultantes de la estratificación lutítica. Los coluviones que se proyectan desde sus entrantes hacia aguas abajo, presentan las ondulaciones características que los identifican. Este fondo de valle está dominado por las anteriores geoformas; tiene características de plano inclinado, con ondulaciones superficiales insinuando la estratificación lutítica y con angosto y lineal coluvión de fondo a lado y lado de los drenajes (riachuelos).

#### **6.4.1.8. Digitación inclinada del barrio Kennedy**

Acá se tienen en cuenta los terrenos al sur de la calle 11 entre calles 7 a 8 y sus inmediaciones. Este saliente del relieve está ocupado con edificaciones urbanas sobre terrenos inclinados hacia la parte central de la ciudad. Posiblemente fue de lomo redondeado en dicha dirección, con suelos residuales y horizontes pedológicos superficiales, conteniendo delgado depósito coluvial.

#### **6.4.1.9. Altos del barrio Aquileo Parra**

Corresponde a los terrenos al sur de la calle 11, arriba de la carrera 6a.

Comprende un sector alto, escarpado y disectado verticalmente que sirve de cabeceras a este sector en particular, drenado por pequeñas corrientes que bajan por entre estos entrantes que incluso ya han causado procesos de reptación de suelos en la plataforma del escalón El Amarillo, con riesgos de caída a los terrenos de aguas abajo, arcillosos, nivel freático superficial, a modo de plano inclinado suavemente ondulado mostrando delgados coluviones superficiales, siguiendo las líneas de drenaje. Corresponde junto con las digitaciones del Barrio Kennedy y América India, a cara de antigua y derruida faceta triangular.

En la figura 93 se aprecia el escarpe de erosión con caída hacia la quebrada Las Flores, mostrando en la cabecera cicatriz de reciente movimiento de remoción en masa.

**Figura 93.** Escarpe de erosión con caída hacia la quebrada Las Flores.



Fuente: Elaboración Propia

#### **6.4.1.10. Digitación inclinada del barrio América India**

Saliente vertical componente sur de la derruida faceta triangular El Amarillo, con caída por este costado hacia la quebrada El Palenque. Sirve de flanco que delimita por este costado la derruida faceta triangular El Amarillo; posee topes redondeados, sobre suelo residual y horizontes superficiales con propiedades edafológicas. En su parte baja se tienen escalones antrópicos con edificaciones de vivienda. Hacia el costado sur se tiene concavidad del suelo, atribuible a proceso de deslizamiento superficial (entrante de erosión activo) hacia la quebrada Palenque, poniendo en peligro las edificaciones existentes.

#### **6.4.1.11. Concavidad de la quebrada Palenque**

Ancha concavidad por ensanchamiento de su cuenca a consecuencia del proceso de erosión remontante de esta quebrada. Consta de escarpes casi verticales hacia las partes altas de la concavidad por desprendimiento de materiales hacia las partes bajas o fondo de valle a tendencia convexa en el sentido de su eje principal, escalonado, mostrando presencia de delgados suelos residuales y poco desarrollo del perfil de suelos. Tiene tendencia a la reptación y ocurrencia de deslizamientos superficiales.

En la figura 94 se observa la amplia concavidad labrada por la quebrada Palenque y tributario sur en los terrenos del macroescalón El Amarillo.

**Figura 94.** Concavidad labrada por la quebrada Palenque



Fuente: Elaboración Propia

**6.4.1.12. Punta de interfluvio entre las quebradas palenque y La Lajita**

Tiene las características de faceta triangular afectada por la erosión modelando salientes y entrantes verticales, de caras horizontales y verticales rectilíneas, mostrando la horizontalidad de la estratificación lutítica.

**6.4.1.13. Cabeceras de la quebrada La Lajita**

Ora amplia concavidad por entrante del proceso de erosión remontante de esta quebrada. Tiene similitud con la concavidad de la quebrada Palenque, es decir con escarpes casi verticales hacia las partes altas de la concavidad por desprendimiento de materiales hacia las partes bajas o fondo de valle a tendencia convexa en el sentido de su eje principal, escalonado, mostrando presencia de delgados suelos residuales, incipiente desarrollo del perfil de suelos y condiciones de nivel freático alto.

**6.4.1.14. Faceta triangular Santa Teresita**

Estructura triangular con su punta superior en el borde del macroescalón El Amarillo, probable escarpe de falla de laderas dispuestas en gradería estructural meteorizada, semiborrada y derruida por la erosión de sus escalones, drenando hacia el escalón del barrio Santa Teresita. Corresponde a sector modelado en escalinata, que parece ser el climácico para los terrenos lutíticos que la conforman.



#### **6.4.2. Terrenos de la plataforma del macroescalón de Vélez**

Como ya se dijo anteriormente, el área urbana de Vélez está construida sobre la plataforma del erosionado macroescalón donde se asiente su parte central, inclinado rectilíneamente hacia el oriente, disectado al norte por la quebrada Las Flores y al sur por las quebradas Palenque – La Lajita, existiendo un retazo norte donde se asientan las instalaciones de la cárcel, el cementerio y el barrio San Luis, separados del retazo principal de Vélez por la quebrada Las Flores, existiendo otro más al sur correspondiente al escalón estructural meteorizado donde se construyó el barrio de Santa Teresita, separado del central por la discontinuidad resultante del accionar erosivo de las quebradas Palenque – La Lajita, hoy ocupada por el fondo de valle que las separa. De norte a sur se pueden diferenciar los diferentes modelados según los siguientes sectores geomorfológicos.

##### **5.4.2.1 Terrenos del cementerio – barrio San Luis**

Terrenos a tendencia plana pero con cabecera ampliamente cóncava hacia el norte y hacia los bajos del barrio San Luis, conformada por terrenos con normal desarrollo de sus suelos residuales y horizontes orgánicos superficiales, en proceso de desplazamiento o corrimiento (reptación). No son claras las razones de este corrimiento superficial del suelo, pero pueden existir condiciones de rellenos antrópicos o de superficiales estratos lutíticos muy blandos.

##### **5.4.2.2 Contrafuerte de la calle 13**

Este saliente del relieve que separa los terrenos de la Cárcel municipal de los de carácter plano de la Plaza de Ferias y barrio Villa Campestre a nivel del macroescalón de Vélez, ha sido objeto de arreglos antrópicos, en forma de escalones y escarpes verticales, donde aflora la roca madre.

##### **5.4.2.3 Terrenos de la plaza de ferias**

Es un área plana, al parecer conformada por rellenos antrópicos, sobre materiales anteriormente depositados por la quebrada Las Flores y sus tributarios; también por tierras sobrantes de las explanaciones de las construcciones urbanas aledañas.

##### **5.4.2.4 Cauce de la quebrada Las Flores**

Esta quebrada desciende por el costado sur del área urbana actual, sin su modelado natural, dado su confinamiento para su manejo como parte de la zona urbana de Vélez, con presencia hacia su costado izquierdo (norte), terrenos que se comportan como activo coluvión por tratarse de derrubios inconsolidados, tanto naturales como antrópicos, de bajas propiedades geomecánicas.



#### 5.4.2.5 Digitación de la calle 12

Alta franja de terreno de trazado lineal, tope convexamente redondeado en descenso hacia el oriente, con suelos residuales, materiales coluviales y horizontes orgánicos superficiales, de laderas rectilíneas hacia su costado sur, recto cóncavas hacia su costado norte y en S cóncavo convexa en su punta oriental. Es un retazo de características estables que no ha podido ser destruido por los procesos de erosión que han afectado la meseta de Vélez. Es de condiciones estables en profundidad.

#### 5.4.2.6 Retazo principal del Macroescalón de Vélez

Terrenos donde se asienta el centro del casco urbano. Es ancho y lago escalón inclinado hacia el oriente, con algunos contraescarpes rectilíneos intermedios suavizado por las construcciones urbanas. Su modelado es artificializado. Se le puede dar la connotación de meseta adosada a las vertientes orientales de la serranía de Vélez – La Paz. Posee suelos residuales de origen lutítico y derrubios gravitacionales procedentes de partes altas y desarrollo de horizontes orgánicos superficiales.

#### 5.4.2.7 Valle de las quebradas Palenque – La Lajita

Entre la meseta de Vélez al norte y el escalón de Santa Teresita al sur, se diferencia este ancho corredor hundido con respecto a estos componentes laterales, modelado como plano inclinado siguiendo la dirección de las quebradas Palenque – La Lajita con caras y aristas casi horizontales por erosión superficial de los anchos escalones que se insinúan en el relieve superficial. Es de incipiente suelos residuales y poco desarrollo de sus horizontes orgánicos superficiales en su plataforma.

#### 5.4.2.8 Escalón del barrio Santa Teresita

Ancho escalón inclinado hacia el sur, de origen estructural, retazo sur del macroescalón de Vélez, de superficie y pared inferior rectilíneos mostrando alta meteorización, con normal desarrollo del suelo residual y horizontes orgánicos superficiales.

### 5.4.3 Terrenos (escarpes) de la parte baja del macroescalón de Vélez

Lo que es el escarpe de la meseta de Vélez, aparece erosionado en su costado sur por la quebrada Las Flores; también hacia sus partes bajas (costado oriental), por superficiales valles en U. El entrante de erosión más importante la fraccionó en lo que es la digitación de la calle 12 al norte y el cuerpo principal de la meseta al sur, separadas por el valle de la quebrada Los Naranjos.

Este escarpe también interrumpido por el valle de las quebradas Palenque – La Lajita, se prolonga hacia el sur en forma de graderío estructural superficialmente erosionado y muy intervenido con cortes y rellenos de vías y construcciones laterales a estas.



#### **5.4.3.1 Gran concavidad de la quebrada Las Flores**

El valle de esta quebrada, en su tramo paralelo a la calle 12, es de sección transversal irregularmente triangular de vertientes (escarpes de disección) con caída hacia el cauce principal, habiéndose formado ya una gran concavidad de paredes casi verticales con caída hacia el cauce principal; estos taludes se le observa estables por ahora. Corresponde al ataque del relieve por el proceso de erosión remontante de la quebrada Las Flores

#### **5.4.3.2 Estribaciones de la digitación de la calle 12**

En su costado norte existe un valle de sección transversal triangular, de lados o laderas rectilíneas, adosado a ella, el cual fue objeto de ruptura en su parte central con vertimiento (o captura) hacia la quebrada Las Flores y consecuente aparición de escarpe de derrubios hacia este costado de modelado irregular. Hacia su costado sur lo delimitan vertientes suavemente cóncavas del valle en U de la quebrada o caño Los Naranjos.

#### **5.4.3.3 Valle de la quebrada Los Naranjos**

Valle cóncavo en U amplia y con frente de avance de proceso de erosión remontante hacia el área urbana. El redondeado cóncavo de sus paredes laterales probablemente es de origen antrópico, atribuibles al cultivo de estos terrenos.

#### **5.4.3.4 Escarpes orientales de la meseta de Vélez**

La plataforma urbana muestra hacia el oriente y hacia el sur, sucesivos bordes cóncavos hacia tales direcciones, que corresponden a cabeceras de entrantes de erosión, en forma de valles cóncavos, en U abierta, con sus ejes de drenaje inclinados en tales sentidos, cuyas cabeceras rematan en concavidades que afectan la orilla de la meseta de Vélez, dando lugar a una especie de festoneado de esta. Son indicios de antiguos procesos de erosión regresiva o remontante hacia la plataforma urbana. La forma de la sección trasversal en U puede atribuirse a su laboreo agrícola en años precedentes.

Hacia las partes bajas de este escarpe se tienen vertientes de modelado con tendencia a ser ampliamente convexo, alcanzándose a observar los lineamientos de la estratificación lutítica, como si se hubiese borrado su original topografía escalonada, sea por procesos erosivos naturales (geofoma de origen denudacional), sea por cultivo de sus suelos (origen antrópico).

#### **5.4.3.5 Interfluvio de las quebradas Palenque y La Lajita**

Ancho interfluvio de fondo de valle entre las quebradas Palenque al norte y La Lajita al sur, a modo de ancho corredor hundido con respecto a sus componente laterales, modelado como plano inclinado con aristas casi horizontales por erosión superficial de los anchos escalones que se insinúan en el relieve superficial. Hacia la quebrada El Palenque descienden los ondulados terrenos de origen coluvial (coluvión).



#### 5.4.3.6 Graderío estructural intervenido

Es un escalonamiento residual de anchos y altos escalones a tendencia rectilínea, tanto en componentes horizontales como verticales, muy afectados y transformados con vías, cortes y rellenos antrópicos, incluidas edificaciones de borde de vía.

#### 5.4.3.7 Cabecera microcuenca riachuelo San Andresito

Entrante del relieve a modo de cabecera de microcuenca por proceso de erosión remontante, afectando el graderío estructural intervenido. Su cabecera se ubica en la divisoria de aguas hacia la quebrada Los Laureles pocos metros al sur del barrio Santa Teresita por la vía a las instalaciones de la Policía, con cicatriz de despegue (escarpe casi vertical) en su cabecera, vertientes laterales convexas, escalonadas y estratificadas, fondo de valle plano que obra como humedal, con vertimientos hacia terrenos más bajos, escalón de plataforma algo inclinada hacia aguas abajo cayendo hacia el talud de corte de la vía a Barbosa.

### 5.4.4 Terrenos del macroescalón del SENA

Hacia aguas abajo de donde termina la digitación de la calle 12 y las laderas del contraescarpe del macroescalón de Vélez, se presenta un importante cambio topográfico hacia terrenos de ancho escalón con discontinuidad al sur al estar fuertemente disectado por el valle de las quebradas Palenque – La Lajita, existiendo indicios de antigua ruptura de punto de control; hacia el sur se tiene sector de amplios escalones separados por escarpes bajos y poco inclinados. De norte a sur se pueden identificar los diferentes modelados según los siguientes sectores geomorfológicos.

#### 5.4.3.1 Valle de la quebrada Las Flores

Acá ésta quebrada es de trazado lineal, modelando regularizadamente un valle en V medianamente abierta, de vertientes rectilíneas con caída hacia su cauce, de 10 metros en su parte alta y 25 en su parte más baja, mostrando procesos de remoción en masa de carácter superficial.

#### 5.4.3.2 Componente norte del macroescalón del SENA

Ancha digitación, más alta con respecto a la quebrada Las Flores al norte y Palenque al sur, con caída rectilínea hacia la primera y atacada por el proceso erosivo de la segunda en su borde inferior, observándose ruptura de continuidad hacia el sur del escalón estructural que allí existió.



En su largo y ancho tope se tienen terrenos suavemente ondulados a planos donde priman las anchas y extensas superficies planas o poco inclinadas (baja pendiente), algunas de origen antrópico y ocupadas con conjuntos residenciales, en general sin patrón morfográfico definido, poco profundizado por la red de drenaje que drena en su mayor parte hacia la quebrada Palenque y con poco desarrollo hacia la quebrada Las Flores. El origen de algunos de estos modelados rectilíneos resulta difícil de explicar existiendo la posibilidad de considerar la presencia de grupos humanos habitando este territorio, a explorar arqueológicamente.

#### **5.4.3.3 Interfluvio quebrada Palenque – La Lajita**

Continuación hacia aguas abajo del ancho y superficial coluvión de fondo de valle de las quebradas Palenque al norte y La Lajita al sur, de origen fluvio torrencial, de modelado anchamente corrugado con amplias ondulaciones convexas (como sucesión de montones redondeados).

#### **5.4.3.4 Concavidad de área tributaria de microcuenca afluente de la quebrada La Lajita**

Saliente del relieve donde dominan amplios y bajos escalones de saltos inclinados dominando las formas planas y rectas. Parecen geoformas antrópicas.

#### **5.4.3.5 Concavidad de cabeceras de quebrada tributaria de la quebrada Palenque**

Entrante del relieve en la cabecera de frente de erosión de pequeño tributario de la quebrada Palenque, de forma ampliamente cóncava, tipo semiembudo.



## 5.5 MORFOGÉNESIS (ORIGEN DE LAS DIFERENTES GEOFORMAS BÁSICAS)

En las vertientes orientales del extremo sur de la Serranía de Vélez- La Paz, se tiene un relieve de características montañosas, disectado y erosionado por las redes hidrográficas que la drenan y que se constituye en los principales componentes dinámicos linealmente actuante, capaz de introducir cambios en el contexto geomorfológico inicial como son los cinco macroescalones antes identificados, disectándolos de tal manera que de arriba abajo se pueden diferenciar varios contextos geomorfológicos basados en los cambios producidos sobre las plataformas y saltos o escarpes de dichas geoformas, apareciendo geoformas menores a las que nos hemos venido refiriendo geomorfológicamente.

En el proceso de identificación de las geoformas actualmente presentes y mecanismos que han intervenido para originarlas, se considerarán los escenarios ya tenidos en cuentas como son el macroescalón El Amarillo donde se ubican los terrenos de la parte alta u occidental del casco urbano, el macroescalón donde se ubica el centro del casco urbano y los terrenos de la parte baja de la ciudad

### 6.4.3. Terrenos de la parte alta de Vélez

Acá se tendrán en cuenta las laderas o vertientes del escarpe del macroescalón inmediatamente superior o El Amarillo, partes altas de la cabecera municipal.

#### 6.4.3.1. Entrante de la cárcel y campo de fútbol El Campín

Corresponde a las paredes dejadas por antiguo proceso de remoción en masa hacia los terrenos del escalón de Vélez. Tiene alguna relación con el avance del proceso de erosión remontante o regresiva de la red hidrográfica de la quebrada Las Flores, en la que uno de sus tributarios parece haber sido "tapado" con las edificaciones de la cárcel y del barrio San Luis.

#### 6.4.3.2. Digitación inclinada o contrafuerte al norte de la calle 13

Este saliente del relieve que separa los terrenos del entrante de la cárcel con la concavidad donde se asiente el barrio Esperanza Alto, es una geoforma residual en la que el sustrato geológico ha soportado más resistentemente los eventos erosivos de destrucción del relieve, permitiendo su redondeamiento superficial producto de los procesos de meteorización que alcanzan los 1,5 – 2 m. de profundidad y de formación de los suelos propios de las condiciones climáticas de la región, con la consecuente presencia de suelos residuales bajo el perfil pedológico natural allí desarrollado.



#### **6.4.3.3. Valle del barrio La Esperanza Alto**

Este valle se ha originado en la disección del escarpe del macroescalón El Amarillo por parte de tributario del costado norte de la red hidrográfica de la quebrada Las Flores, con proceso de colmatación en su parte central. El ensanchamiento lateral puede deberse a procesos de infiltración y régimen hipodérmico desde las digitaciones laterales que lo enmarcan.

#### **6.4.3.4. Digitación inclinada costado sur barrio La Esperanza Alto**

Este saliente del relieve que separa la concavidad del barrio Esperanza Alto y el valle intermedio entre las calles 12 y 13, es también una longitudinal geoforma residual cuyo sustrato geológico, al igual que su similar al norte de la calle 13, ha afrontado los eventos erosivos de destrucción del relieve y permitido los procesos de meteorización y de formación de los suelos, propios de las condiciones climáticas de la región, con la presencia de suelos residuales bajo el perfil pedológico allí desarrollado, los que en conjunto han provocado el redondeamiento de su tope.

#### **6.4.3.5. Valle intermedio entre calles 12 y 13**

Este valle se ha originado también en la disección del escarpe del escalón El Amarillo de tributario del costado norte de la red hidrográfica de la quebrada Las Flores, que pasaría por terrenos del hoy Barrio Villa Campestre. En su ensanchamiento obraría el mismo mecanismo indicado para el valle del barrio La Esperanza alto.

#### **6.4.3.6. Digitación inclinada de la calle 12**

Este saliente del relieve separa el valle intermedio entre las calles 12 y 13 y los terrenos del valle principal de la quebrada Las Flores. En su parte alta y en punto ubicado al final occidental de la calle 12, tiene similares características de sus digitaciones hermanas de la calle 13 y costado sur del barrio Esperanza Alto. Allí termina en un escarpe casi vertical con fallas en su talud de corte por probable influencia tectónica, mientras que en su parte baja apenas se insinúa en el relieve destruido por la erosión dejando de ser prominente con respecto a las digitaciones localizadas más al norte ya descritas.

#### **6.4.3.7. Valle de la quebrada Las Flores**

La presencia de este valle y sus salientes y entrantes hacia el tope del macroescalón El Amarillo (cabeceras del valle) lo son por su mismo proceso de erosión remontante. Probablemente contiene algún componente tectónico (levantamiento reciente), para la caótica destrucción de las partes altas del relieve.



#### **6.4.3.8. Digitación inclinada del barrio Kennedy**

Como flanco con caída hacia el cauce principal de la quebrada La Flores, constituye una forma residual del proceso de erosión remontante de esta quebrada y como flanco norte de una faceta triangular e indicio de movimiento tectónico afectando el escarpe del macroescalón El Amarillo. Es un saliente menos notorio que sus hermanos del sur, pero con su misma dinámica.

#### **6.4.3.9. Altos del barrio Aquileo Parra**

Acá se tienen en cuenta los terrenos al sur de la calle 11, arriba de la carrera 6ª hasta el borde del macroescalón el Amarillo. Comprende un sector alto muy altamente pendiente de la faceta triangular allí existente, de condiciones topográficas escarpadas por probables razones tectónicas y disectado verticalmente por pequeñas corrientes de agua dando lugar a la presencia de entrantes y salientes verticales con lineamientos horizontales y otro sector a modo de plano inclinado suavemente ondulado hacia su parte baja mostrando delgados coluviones superficiales por depositación de materiales provenientes de la parte alta, proceso antiguo, no actual. El escarpe puede corresponder a un escarpe de falla y el plano inclinado a erosión baja condiciones paleoclimáticas secas.

#### **6.4.3.10. Digitación inclinada del barrio América India**

Sirve de línea divisoria de aguas entre la microcuenca de la quebrada Las Flores al norte y Palenque al sur. Terrenos residuales del proceso de destrucción del relieve por parte de estas dos corrientes de agua. Su origen es estructural, con modelado redondeado de origen climático y como flanco sur de la faceta triangular El Amarillo, tendría origen tectónico.

#### **6.4.3.11. Concavidad de la quebrada Palenque**

Ancha concavidad por ensanchamiento de su cuenca a consecuencia del proceso de erosión remontante de esta quebrada y su tributario del costado sur. Es un estilo diferente al proceso de erosión remontante de la quebrada Las Flores. Consta de escarpes casi verticales hacia las partes altas de la concavidad por desprendimiento de materiales hacia las partes bajas o fondo de valle a tendencia convexa en el sentido de su eje principal, escalonado, mostrando presencia de suelos residuales y desarrollo del perfil de suelos, en menor medida que en las digitaciones de las partes altas.

#### **6.4.3.12. Punta de interfluvio entre las quebradas Palenque y La Lajita**

Faceta vertical triangular de carácter rocoso, meteorización superficial con salientes o lineamientos verticales rocosos, por presencia de condiciones de roca más resistente a los procesos erosivos. Su origen es estructural a modo de escarpe de falla e indicio de posible antigua falla geológica por su pie.



#### **6.4.3.13. Cabeceras de la quebrada La Lajita**

Concavidad por entrante del proceso de erosión remontante de esta quebrada, estilo de disección propio de esta parte del cuerpo del macroescalón El Amarillo.

#### **6.4.3.14. Faceta triangular Santa Teresita**

Graderío estructural meteorizado, semiborrado y derruido por la erosión de estos escalones, drenando hacia el escalón del barrio Santa Teresita. Parece ser el tipo de modelado propio de las lutitas estratificadas casi horizontalmente. Puede ser de origen tectónico (escarpe de falla) , cuya base tiene alguna coincidencia con la ubicada más al norte ya descrita anteriormente. Su correspondencia con el alineamiento de la quebrada Los Laureles al sur es indicio de falla proveniente de la principal del río Suárez.

#### **6.4.4. Terrenos de la plataforma del macroescalón de Vélez**

Corresponde a la plataforma del erosionado macroescalón de Vélez donde se asiente su parte central, de características inclinadas hacia el oriente, delimitado hacia el norte por la quebrada Las Flores y al sur por la quebrada Palenque, identificándose otros retazos del mismo, como el localizado al norte donde se encuentran las instalaciones de la cárcel, el cementerio y el barrio San Luis, separado del retazo principal por la quebrada Las Flores y otro más al sur correspondiente al escalón estructural meteorizado donde se construyó el barrio de Santa Teresita, separado del central por la discontinuidad resultante del accionar erosivo de las quebradas Palenque – La Lajita hoy ocupada por el fondo de valle que las separa. De norte a sur se pueden identificar el origen de los siguientes sectores geomorfológicos.

##### **6.4.4.1. Terrenos del cementerio barrio San Luis**

Sector plano con concavidad hacia el sur desde los terrenos del cementerio. Es un retazo del macroescalón de Vélez, del que se separó ante el proceso de profundización de esta quebrada, por lo que se considera como geoforma de origen estructural, especie de escalón colgado con respecto a los terrenos de la parte baja.

##### **6.4.4.2. Contrafuerte de la calle 13**

Este saliente del relieve que separa los terrenos de la Cárcel municipal de los de carácter plano de la Plaza de Ferias y barrió Villa Campestre, ha sido objeto de arreglos antrópicos, en forma de escalones y escarpes verticales, donde aflora la roca madre. Como todo contrafuerte del relieve, es una geoforma residual dura geológicamente, que ha afrontado los eventos erosivos de destrucción del relieve y de suelos superficiales que han afrontado los procesos de meteorización y de formación de los suelos, redondeando su cima que ha sido objeto de arreglos de origen antrópico ya citados.



#### **6.4.4.3. Terrenos de la plaza de ferias**

Es un área plana, que en condiciones naturales servía como lugar de depositación de materiales transportados torrencialmente por la quebrada Las Flores y sus tributarios, terrenos sobre los que posteriormente se efectuaron rellenos antrópicos con materiales de bajas propiedades geomecánicas. Su topografía a tendencia plana, es entonces de origen antrópico.

#### **6.4.4.4. Cauce de la quebrada Las Flores**

Esta quebrada desciende por el costado sur del área urbana actual. Al paso por la plataforma del macroescalón está controlado y confinado por los arreglos urbanos a lado y lado de la misma. Acá ha perdido su sección transversal natural.

#### **6.4.4.5. Digitación de la calle 12**

Tope lineal en descenso hacia el oriente, digitación no erosionada o residual de la plataforma principal del macroescalón de Vélez. Es una geoforma residual en la que el sustrato geológico ha resistido los eventos erosivos de destrucción del relieve, permitiendo los procesos de meteorización y de formación de los suelos ya mencionados, procesos en los que se origina su modelado redondeado.

#### **6.4.4.6. Retazo principal del macroescalón de Vélez**

Terrenos donde se asienta el centro del casco urbano. Es parte de un macroescalón y por lo tanto es de origen estructural, conteniendo suelos residuales con delgado y superficial estrato de derrubios gravitacionales. Son terrenos que han afrontado la severidad de los procesos erosivos de las quebradas Las Flores y Palenque, incluidos tributarios de este. Se le puede dar la connotación de meseta.

#### **6.4.4.7. Valle de las quebradas Palenque – La Lajita**

Entre los cauces de ambas quebradas se diferencia un ancho corredor de terrenos que se han erosionado laminarmente y planarmente ante el poder destructivo de ambas quebradas, habiéndose profundizado este interfluvio entre ambas quebradas, conservando rasgos de la estratificación geológica. Su origen es estructural de modelado fluvio torrencial.

#### **6.4.4.8. Escalón del barrio Santa Teresita**

Ancho escalón inclinado hacia el sur, de origen residual, retazo sur del macroescalón de Vélez, luego también de origen estructural, conteniendo suelos residuales e incluso delgado y superficial estrato de derrubios gravitacionales, con formación de suelos residuales y horizontes orgánicos superficiales, removidos parcialmente para las edificaciones allí construidas.



#### **6.4.5. Terrenos (escarpes) de la parte baja del macroescalón de Vélez**

Lo que es el escarpe de la meseta de Vélez, muestra dos contextos, uno superior donde aparece erosionado en su costado sur por la quebrada Las Flores, seguido de otro importante entrante que fraccionó la meseta de Vélez (cañada Los Naranjos) por proceso de erosión remontante de esta, dando lugar a lo que es la digitación de la calle 12 y también en sus bordes (hacia sus partes bajas) por entrantes de erosión de ya no funcionales corrientes de agua provenientes de la misma meseta con drenajes hacia la quebrada Palenque. El contexto inferior se compone de valles colgados, laderas y salientes con lineamientos horizontales, indicio del alto poder erosivo de la quebrada Palenque por circunstancias hidrológicas más activas que las actuales, incluida cierta influencia tectónica (solevantamiento del territorio) y las ya mencionadas acciones antrópicas, posiblemente precolombinas.

##### **6.4.5.1. Valle de la quebrada Las Flores**

Es un amplio valle irregularmente triangular de origen aluvial con proceso de erosión remontante o regresiva en el proceso de profundización de su cauce, con frente de ataque hacia las vertientes localizadas hacia su costado norte en forma de gran concavidad que amenaza terrenos de las partes altas localizadas en el macroescalón de Vélez

##### **6.4.5.2. Estribaciones de la digitación de la calle 12**

En su costado norte se tiene un valle regularmente triangular de origen probablemente estructural, paralelo a esta digitación, que ha sido destruido en su parte media por el accionar de la quebrada Las Flores, en lo que se considera una captura de esta, dejando no funcional la parte final de dicho valle.

Hacia su costado sur son vertientes suavemente convexas del valle en U por razones climáticas y antrópicas.

##### **6.4.5.3. Valle de la quebrada Los Naranjos**

Se formó por el proceso de erosión remontante de la quebrada Los Naranjos, dando lugar por este costado a un valle en U amplia y con frente de avance hacia el área urbana.

El redondeamiento de sus paredes laterales probablemente es de origen antrópico, atribuible al cultivado de estos terrenos.



#### **6.4.5.4. Escarpes orientales de la meseta de Vélez**

La plataforma urbana muestra hacia el oriente y hacia el sur, sucesivos bordes cóncavos hacia tales direcciones, que corresponden a cabeceras de entrantes de erosión hacia el cuerpo principal en forma de valles cóncavos, en U abierta, dando lugar a una especie de festoneado de las márgenes ya indicadas, indicando antiguos procesos de erosión regresiva o remontante hacia la plataforma actualmente inactivos. Han quedado como cabeceras de incipientes valles colgados que drenan hacia la quebrada Palenque, posiblemente por levantamiento del territorio y rápida profundización del valle de la quebrada Palenque – La Lajita. La forma de la sección transversal en U puede atribuirse a su laboreo agrícola en años precedentes.

Hacia las partes bajas de este escarpe se tienen vertientes de modelado con tendencia a ser ampliamente convexo, alcanzándose a observar los lineamientos de la estratificación lutítica, como si se hubiese borrado su topografía original escalonada, sea por procesos erosivos naturales (paleoclima secol), sea por cultivado de sus suelos (origen antrópico).

#### **6.4.5.5. Interfluvio de las quebradas Palenque Y La Lajita**

Es un ancho fondo de valle cepillado rectilíneamente por el accionar conjunto de las quebradas Palenque al norte y La Lajita al sur, probablemente por erosión superficial de estos terrenos, trabajo geomorfológico no actual pues se observan suelos con desarrollo del horizonte residual y reciente desarrollo del horizonte orgánico superficial.

#### **6.4.5.6. Graderío estructural intervenido**

Es un escalonamiento residual y por lo tanto de origen estructural, afectado por procesos erosivos recientes y acciones antrópicas en los últimos años, principalmente con cortes y rellenos antrópicos, vías y edificaciones.

#### **6.4.5.7. Cabecera microcuenca Riachuelo San Andresito**

Entrante del relieve por proceso de erosión remontante, o sea cabecera de frente de erosión de pequeño tributario de la quebrada La Lajita.

#### **6.4.6. Terrenos del macroescalón del Sena**

Hacia aguas del escarpe del macroescalón de Vélez donde termina la digitación de la calle 12, se presenta un importante cambio topográfico, ahora sobre terrenos de ancha y masiva plataforma de terrenos superficialmente ondulados, delimitada al sur por el valle de la quebrada Las Flores y que más al sur aparece fuertemente disectada por el valle de las quebradas Palenque – La Lajita, existiendo indicios de antigua ruptura de punto de control.



#### **6.4.6.1. Valle de la quebrada Las Flores**

Acá ésta quebrada es de trazado lineal, modelando regularizadamente un valle en V de vertientes rectilíneas, de mediana altura, mostrando procesos de remoción en masa de carácter superficial. Su origen es típicamente aluvial.

#### **6.4.6.2. Componente norte del macroescalón del Sena**

Ancha digitación entre las quebradas Las Flores y Palenque, poco elevada con respecto a estas (20 -30 metros), con caída rectilínea hacia la primera y atacada por el proceso erosivo de la segunda, donde muestra un boquete hacia esta quebrada, concavidad cuyo labio inferior u oriental muestra ruptura del escalón estructural que allí existió. Es un sector de terrenos ondulados donde priman las anchas superficies planas, poco inclinadas o de baja pendiente sobre el lomo de la ancha digitación, sin drenajes que las profundicen hacia la quebrada Palenque salvo el de la quebrada Los Naranjos. Puesto se trata de superficies sin un patrón morfográfico definido, algunas ocupadas antrópicamente con conjuntos residenciales, incluidos desviaciones de aguas, se presume gran participación antrópica en este territorio. Es de origen estructural con desarrollo de su suelo residual y horizontes orgánicos superficiales con alta influencia climática.

#### **6.4.6.3. Interfluvio quebrada Palenque – La Lajita**

Continuación hacia aguas abajo del ancho coluvión de fondo de valle de las quebradas Palenque al norte y La lajita al sur, de origen estructural y de modelado fluvio torrencial.

#### **6.4.6.4. Componente sur del macroescalón del sena**

Amplio entrante del relieve donde dominan amplios y bajos escalones de saltos inclinados transformados en potreros. El escalonamiento superficial es estructural con desarrollo de su suelo residual y horizontes orgánicos superficiales de acuerdo a su litología y clima húmedo, pero el escalón más bajo parecen tener influencia antrópica.

#### **6.4.6.5. Cabeceras de la quebrada Chapinero**

Entrante del relieve por movimiento de remoción en masa en la cabecera de frente de erosión de pequeño tributario de la quebrada Palenque, también por su proceso de erosión remontante o regresiva.



## 5.5 PROCESOS MORFODINÁMICOS

Los procesos morfodinámicos corresponden a una serie de acciones sucesivas y/o simultáneas y sinérgicas a través de las cuales los agentes morfogenéticos, principalmente los externos (factores climáticos, hidrológicos, antrópicos), son capaces de modelar las formas de la superficie terrestre. Los procesos morfodinámicos están asociados a una secuencia conformada por la erosión de los suelos y las rocas (cuando estas están expuestas), el transporte de los materiales removidos y la sedimentación o acumulación de estos. En principio ello conduce a la presencia de geoformas de erosión, transporte y acumulación. Los procesos morfodinámicos dependen tanto de una serie de factores externos relacionados con la energía del agente morfogenético y la posición geomorfológica, como de factores internos tales como la composición mineralógica de las rocas (litología), la tectónica y su disposición estructural.

En lo que se relaciona con los terrenos del área urbana de Vélez y sus alrededores, se tuvieron en cuenta los aspectos relativos a la dinámica de las corrientes de agua que han venido destruyendo el relieve, así como los referentes a los interfluvios entre los citados cuerpos hídricos, que por el hecho de tratarse de un contexto montañoso, las unidades de análisis al interior de tales espacios interfluviales, lo son las laderas o vertientes. Finalmente se consideraron los procesos morfodinámicos de carácter antrópico.

### 6.4.7. Procesos morfodinámicos de carácter hidrológico

Las corrientes de agua obran como agentes dinámicos que ocasionan cambios geomorfológicos en su labor de erosión, transporte y depositación de sedimentos y materiales transportados. Los parámetros más importantes a considerar desde el punto de vista de su capacidad para inducir cambios en sus cauces y terrenos aledaños, están relacionados con la magnitud de sus caudales y su pendiente; a mayores caudales y mayores pendientes, mayor trabajo geomorfológico. Ese trabajo geomorfológico que es diferencial desde el punto de vista de la naturaleza geológica de los terrenos intervenidos tiene mayor relevancia durante los periodos lluviosos del año, que es cuando ellos alcanzan los caudales capaces de efectuar actividades de socavación, de arrastre de altas cargas de sedimentos, de profundizar su cauce en la búsqueda de un perfil de equilibrio en el que el río ni erosione ni produzca depósitos, es decir, disponer de la energía justa para transportar su carga líquida.

En el caso de las quebradas Palenque – La Lajita así como la quebrada Las Flores, ellas se vienen profundizando muy lentamente hasta alcanzar una posición de equilibrio en el relieve. Pero sí se sucede algún levantamiento tectónico, se produce algún recorte en su trazado longitudinal, se erosionan unos materiales más débiles o se destruye algún punto de control, el cauce reajusta su nivel, profundizándose en búsqueda de ese punto de equilibrio, avanzando hacia aguas arriba e inestabilizando lateralmente los suelos, afectando las laderas adyacentes con movimientos o despegues laterales de masas de suelo, cuando estas son particularmente sueltas o de materiales no consolidados.



Mediante este proceso se originan los entrantes del relieve, que corresponden entonces a profundizaciones de la red hidrográfica en el sentido de aguas arriba. Mediante ese proceso de disección, se han ido ensanchando sus valles y se ha avanzado en su profundización hacia sus cabeceras y hacia sus ramas laterales, con cambios geomorfológicos a lo largo de estos corredores, modelando finalmente su propia cuenca hidrográfica.

En el caso de Vélez, ese proceso de profundización de la red hidrográfica, activo actualmente, asciende por la quebrada Las Flores al norte y ya tuvo lugar por las quebradas Palenque – La Lajita al sur, habiendo atacando por estos costados la ancha meseta donde se ubica el antiguo casco urbano de Vélez, diferenciándose dos estilos.

#### **6.4.7.1. Microcuenca de las quebradas Palenque – La Lajita**

En el caso de estas dos quebradas, el proceso de erosión regresiva, luego de profundización de su cauce, está muy avanzado, de modo que muestran un gran ensanchamiento de su valle y un importante avance hacia aguas arriba pero también algunos puntos en proceso de ajuste con los consiguientes desplazamientos de suelo hacia su cauce. Es así como la quebrada Palenque ha destruido hacia sus cabeceras los cuatro macroescalones ya descritos, mientras que la quebrada La Lajita ha erosionando los dos primeros de la parte baja. El patrón de profundización de estas dos quebradas a su paso por el macroescalón El Amarillo lo ha sido mediante anchas y amplias concavidades perimetralmente redondeadas. Aguas abajo de estas, también rompió la continuidad entre la plataforma donde se ubica el centro de Vélez y el escalón donde se encuentra el barrio Santa Teresita.

La quebrada Palenque también ha sido responsable del proceso de profundización de los valles en U y entrantes de erosión que atacan la meseta donde se ubica la parte principal del casco urbano a consecuencia de antiguos procesos de erosión regresiva, mientras que hacia el sur, en los bajos del escalón del barrio Santa Teresita, el graderío estructural intervenido viene siendo objeto de fenómenos de destrucción del relieve, con alta influencia de aguas subsuperficiales que se manifiestan en forma de aljibes, incluidas las de orden antrópico que se citan más adelante.

#### **6.4.7.2. Microcuenca de la quebrada Las Flores**

Por su parte la quebrada Las Flores, mientras que su cauce principal ha erosionado los 4 macroescalones antes descritos, a su paso por el escarpe del escalón El Amarillo muestran diferente comportamiento con respecto a las quebradas Palenque-La Lajita.

Tanto su cauce principal como sus tributarios del costado norte, en su proceso de profundización, han dado lugar a la presencia de un sector de angostos y cortos entrantes y salientes del relieve en la corona del contraescarpe El Amarillo, sector que hemos denominado escarpes de erosión y que obran como cabeceras de entrantes toppor donde fluyen pequeñas corrientes de agua que desembocan hacia valles como el del barrio La Esperanza alto y el Valle intermedio entre las calles 12 y 13, de ensanchado fondo donde han dejado su carga, encontrándose actualmente suelos arcillosos con ligeras ondulaciones superficiales y lentos movimientos superficiales del suelo (reptación), concentrados en las



frangas de suelos aledañas a los riachuelos que los drenan, con las características de coluviones superficiales de fondo de valle.

Por su parte el cauce principal de la quebrada Las Flores aparece detenido en su proceso de avance de erosión regresiva hacia aguas arriba a su paso por el costado norte del área urbana, dado su confinamiento o canalización desde el barrio Kennedy, hasta su entrega abajo del puente de la salida hacia Chipatá, al punto de considerar descargas críticas al final de este tramo, lugar donde su accionar ha ocasionado la presencia de gran excavación que socava los terrenos altos del costado donde se ubican el barrio San Luis y las instalaciones del Cementerio.

#### 6.4.8. Dinámica de vertientes

En los interfluvios no intervenidos directamente por el accionar erosivo de las corrientes de agua, son a considerar diferentes escenarios para las distintas condiciones geomorfológicas allí presentes, como son los salientes masivos del relieve, los escalones estructurales, las laderas de modelado rectilíneo y los entrantes del relieve en forma de valles en U.

**Salientes masivos del relieve.** Son longitudinales cerros de cimas redondeadas modeladas convexamente, dispuestos inclinada y verticalmente en el sentido del relieve de occidente a oriente a modo de digitaciones, más prominentes al norte, conformados por los terrenos geológicos más resistentes a los procesos de destrucción del relieve, en los que a poca profundidad aflora el material parental, el cual muestra fina foliación, coloración negra y denso fracturamiento, recubiertas de suelos residuales de tonos pardo amarillentos conteniendo fragmentos rocosos en poca cantidad parcialmente meteorizados como si hubiese ocurrido un proceso de coluvionamiento superficial y los superficiales horizontes orgánicos de su perfil pedológico.

En ellos han tenido ocurrencia los procesos de meteorización superficial con formación de suelos residuales y horizontes orgánicos propios del sistema morfoclimático de estas regiones montañosas de clima medio a frío, muy húmedo. Encima del suelo residual que alcanza los 1,5 a 2 metros de profundidad se observan fragmentos rocosos, dando la apariencia de coluviones estabilizados. En superficie se tiene el suelo pedogenéticamente desarrollado con sus correspondientes horizontes orgánicos.

Son geoformas donde obran principalmente los procesos de erosión superficial de tipo laminar tanto en el tope como en las cabeceras de sus paredes o vertientes laterales con depositación al pié de las mismas, es decir hacia los fondos de valle.

**Escalones estructurales.** Los hay angostos y anchos. En el caso de los primeros, su origen estructural permite buen desarrollo del suelo residual encima del impermeable sustrato lutítico y horizontes orgánicos superficiales, de modo que dada la alta pluviosidad de la zona, los materiales ubicados por encima del sustrato rocoso se comportan como suelos arcillosos, de mal drenaje interno y con malas propiedades geomecánicas. La abundancia de aljibes en el sector del graderío estructural intervenido, hacen más críticas estas condiciones de suelos.



En el caso de los anchos escalones como el retazo norte del sector del cementerio y los del componente norte del macroescalón del Sena, sus condiciones topográficas planas o muy poco inclinadas, también se desarrollan suelos residuales y horizontes pedológicos arcillosos, de 1,5 2 m de profundidad, de mal drenaje interno, cuyo retiro de hace indispensable para la correcta ubicación de las fundaciones de las construcción que allí se levanten. En algunos de ellos se han retirado los materiales superficiales (escalón de Santa Teresita y componente sur del macroescalón del Sena), convirtiéndolos en planos inundables, consecuencia de la impermeabilidad propia de su sustrato lutítico.

**Laderas de modelado rectilíneo.** Las condiciones más generalizadas son las laderas rectilíneas mostrando los lineamientos horizontales de la estratificación lutítica En condiciones naturales, el modelado propio de los terrenos lutíticos horizontales de Vélez lo sería en escalinatas, por lo que se considera que las laderas rectilíneas y escarpes con alineamientos horizontales están bajo la influencia generalizadas de la erosión superficial en forma de microdeslizamientos superficiales y reptación del suelo cuando se trata de terrenos aledaños a los cauces, de planares movimientos de remoción en masa como los identificados para la quebrada Las Flores a la altura del macroescalón del Sena y en las amplias concavidades de las quebradas Palenque - La Lajita, siendo de destacar la que está afectando las construcciones del costado norte del barrio América India, aunque en este caso son a analizar también los procesos constructivos allí utilizados.

Entran en esta categoría, el sector de angostos y cortos entrantes y salientes del relieve en la corona del contraescarpe El Amarillo que hemos denominado escarpes de erosión, que obran como cabeceras de valles por donde descienden pequeñas corrientes de agua, de sección transversal en U hacia sectores ya urbanizados como el del barrio La Esperanza alto y el Valle intermedio entre las calles 12 y 13.

**Entrantes del relieve en forma de valles en U.** Por su parte los valles situados aguas abajo de tales salientes o digitaciones del relieve como lo son los tributarios del costado norte de la quebrada Las Flores, de modelado en U, son receptores tanto de aguas y sedimentos provenientes de arriba del escarpe en los que su fondo de valle parece configurar una especie de bajo no muy profundo, de suelos a tendencia arcillosa, de mal drenaje interno y con capacidad de reptación en el mismo sentido e inclinación del valle, a modo de coluviones de fondo.

En condiciones no confinadas, como es el caso de las partes altas del Barrio Aquileo Parra, la presencia de plano inclinado superficialmente ondulado parece provenir del hecho de ser área receptora de aguas de los escalones residuales existentes hacia la parte alta y de las aguas y sedimentos provenientes de los entrantes que erosionan el escarpe del macroescalón El Amarillo incluyendo antiguos depósitos de materiales coluviales, implicando condiciones de reptación de suelos, particularmente a lado y lado de los pequeños flujos que las drenan, no así de los terrenos secos laterales. Estas parecen ser las condiciones allí imperantes donde en profundidad se observa suelos residuales de origen lutítico y superficial depósito coluvial seco, perfil observable en los taludes del costado sur de la calle 11 (Figura 96).

En la Figura 95 se observa un drenaje elemental con aguas permanentes (quebradita) saliendo de un entrante del relieve.

Da lugar a terrenos en descenso con suaves ondulaciones y presencia de árboles propios de suelos saturados (sauces), conteniendo piedras. Es muy posible que los barrios Esperanza Alto y Kennedy se hayan construido bajo estas circunstancias topográficas favorables, desfavorables en términos de suelos.

En la figura 96 se aprecia el perfil de suelo en corte del costado sur de la calle 11, el cual muestra suelos residuales y el coluvión depositado superficialmente.

**Figura 95.** Plano inclinado en partes altas del barrio Aquileo.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 96.** Perfil de suelo en corte del costado sur de la calle 11.



Fuente: Elaboración Propia

En las cabeceras de este sector de entrantes y salientes, ya en el borde occidental del macroescalón El Amarillo, hay suelos en proceso de corrimiento superficial encausables hasta los terrenos del plano inclinado ya descrito (Figura 97).

En la fotografía a continuación se observan las pequeñas cabeceras de superficiales movimientos de masa al borde del macroescalón El Amarillo con desplazamiento hacia las partes altas del barrio Aquileo Parra.

En la figura 98 se aprecias las laderas rectilíneas mostrando los lineamientos horizontales de la estratificación lutítica. Muestra redondeamientos debidos a su meteorización.

**Figura 97.** Cabeceras de superficiales movimientos.



Fuente: Imagen de la señora Custodia

**Figura 98.** Lineamientos horizontales de la estratificación lutítica.



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 99, en el corte observable, se aprecia el componente lutítico de color negro, encima el suelo residual y superficialmente un horizonte orgánico.

**Figura 99.** Borde sur del componente norte del macroescalón del Sena.



Fuente: Elaboración Propia

**6.4.9. Procesos morfodinámicos de carácter antrópico**

Las principales acciones atribuibles al factor humano, son los que han tenido por objeto la urbanización de los terrenos más favorables de la meseta de Vélez, que se ha venido expandiendo hacia terrenos de condiciones desfavorables en algunos de sus alrededores y en torno a ella toda la infraestructura vial y de servicios públicos domiciliarios y comunitarios inherente a este tipo de desarrollos urbanísticos.

Es así como se identifican explanaciones antrópicas, sean individuales, sean franjas de terreno como adecuaciones para la construcción de vivienda urbana, algunas exitosas cuando han sido ubicadas en condiciones geotécnicamente aceptables (meseta de Vélez, Escalón de Santa Teresita) por retiro de los suelos superficiales, en tanto que otras, relativamente recientes, lo son desafiando las difíciles condiciones geotécnicas y dinámica de sus aguas subsuperficiales en lugares como son los fondos de valles (Valle del barrio La Esperanza Alto), donde pueden tener ocurrencia los movimientos diferenciales del suelo cuando han sido objeto de construcciones sin las debidas obras de subdrenaje y profundidades de cimentación. En estos casos, los caudales superficiales (riachuelos), al parecer han sido manejados incorporándolos al sistema de alcantarillado; probablemente vienen alimentando subsuperficialmente los terrenos donde se ubican los barrios La Esperanza alto, La Esperanza bajo, emergiendo en diferentes lugares como aljibes.

Otras acciones antrópicas están relacionadas con los rellenos antrópicos con tierras sobrantes, en algunos casos buscando conformar condiciones topográficas favorables para posteriormente levantar edificaciones sobre los mismos como los realizados en torno a la Plaza de Ferias y partes bajas de esta en terrenos de derrubios de malas propiedades geomecánicas, presencia de altos niveles freáticos y en general condiciones de sobresaturación por aguas subsuperficiales y aguas lluvias, configurándose todo un sector en proceso de movimientos del suelo, con los consiguientes daños en las edificaciones construidas sobre esta masa de suelos (figuras 100 y 101).

En la Figura 100 se observan los procesos de explanación de terrenos con aparición de cortes y rellenos en el tope e inmediaciones del tope de la digitación del barrio Kennedy, parecen obrar en tal sentido.

En la Figura 101 se aprecia la parte baja del escalón antrópico de la Plaza de Ferias, conformado por derrubios no consolidados desembocando, que muestra signos de reptación hacia el coluvión activo cuya corona se situaría abajo del poste.

**Figura 100.** Escalón antrópico de la Plaza de Ferias.



Fuente: Elaboración Propia



Figura 101. Parte baja del escalón antrópico de la plaza de Ferias.



Fuente: Elaboración Propia

También son de mencionar los rellenos de los bordes viales, conformados por materiales lutíticos de malas propiedades geomecánicas, incompactados, sobrehumectables durante las temporadas lluviosas del año, con los consecuentes daños de las edificaciones sobre ellos construidas, existiendo puntos estables e inestables, como puede ser el caso de los barrios San Luis y Ricaurte.

También hay acciones antrópicas a tenerse en cuenta como son los encauzamientos de las quebradas Las Flores y Palenque a su paso por los costados norte y sur del área urbana y de la pequeña alcantarilla por la que se confinan las aguas de la quebrada La Lajita, insuficientes para los caudales altos y crecidas de estas quebradas, con los consecuentes represamientos, inundaciones y descargas altamente erosivas hacia aguas abajo, incumpliendo, a nivel del área urbana con los retiros que ordena la misma legislación colombiana.

Finalmente son a mencionar, las construcciones en los bordes de escalones y escalinatas, puntos débiles del relieve, potencialmente erosionables frente a los procesos erosivos tanto de orden hidrológico como de vertientes, siendo de destacar las construcciones a borde de escarpe en el caso del escalón de Santa Teresita.

En la figura 102 se aprecian los microescalones en el contraescarpe del macroescalón El Amarillo y las urbanizaciones hacia el borde de la quebrada Las Flores en el macroescalón del Sena.

**Figura 102.** Edificaciones en borde del Escalón de Santa Teresita, en condiciones de amenaza por movimiento de remoción en masa.



Fuente: Elaboración Propia



### 5.6 GEOFORMAS DE ORIGEN ESTRUCTURAL

La geomorfología estructural prioriza la influencia de las estructuras geológicas en el desarrollo del relieve. En los relieves a dominancia estructural, hay predominio de las geoformas dominadas por las estructuras geológicas sobre las que han sido modificadas por la acción climática. Esa influencia estructural es muy patente en las geoformas dominantes en parte del territorio santandereano como son las ya citadas mesetas, mesetas y cuevas. La estratificación geológica y los escarpes que ellos determinan se manifiestan principalmente en modelados rectilíneos de sus vertientes con aristas o filos igualmente lineales.

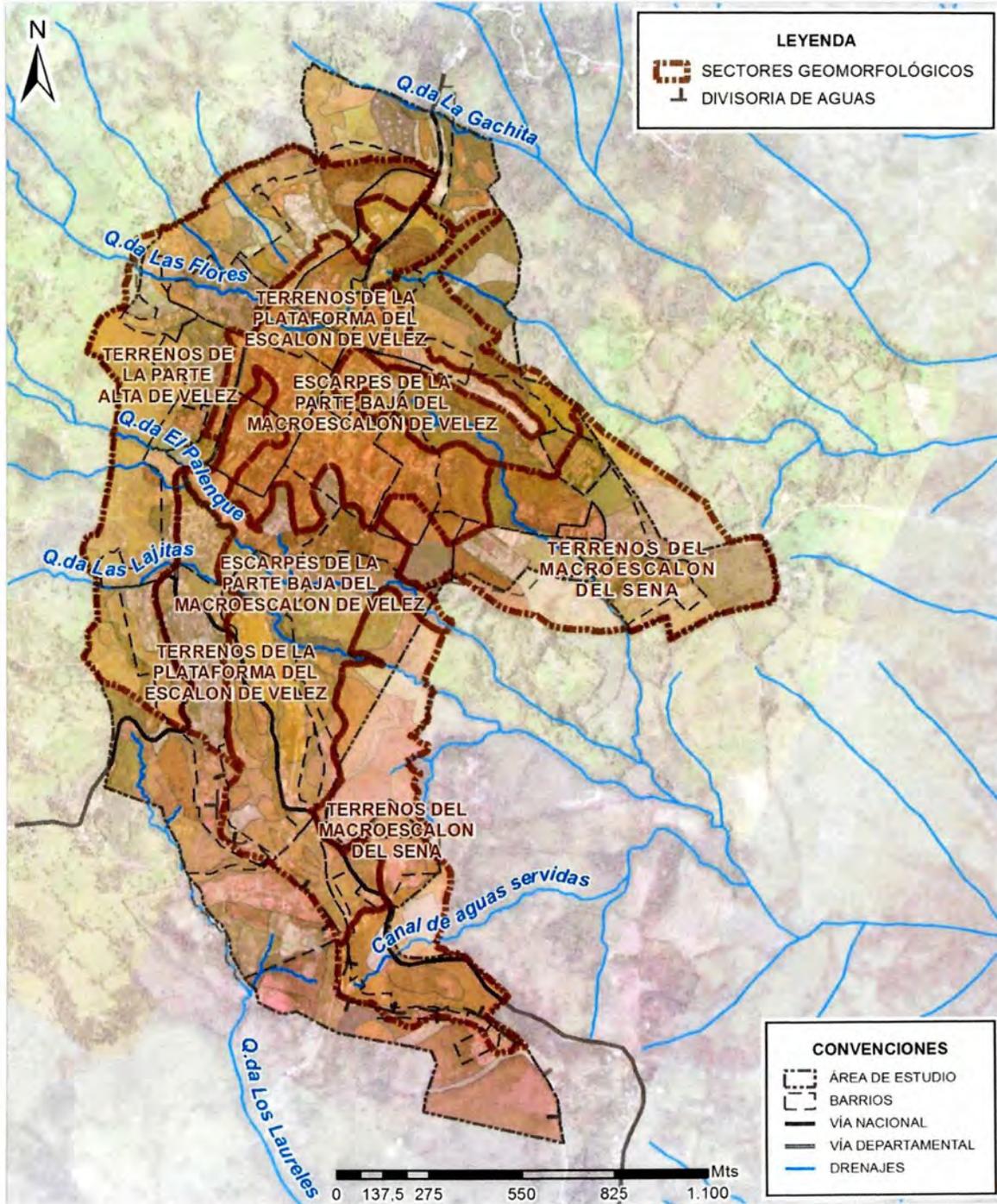
En el caso de las vertientes orientales del extremo sur de la Serranía de Vélez – La Paz, los lineamientos que ellas muestran están determinadas por su estratificación cercana a la horizontal y a la similitud en materia de resistencia a los procesos erosivos superficiales de los materiales que componen las diferentes capas geológicas que se superponen, siendo de destacar que las lutitas estratificadas casi horizontalmente que son las que predominan en los terrenos del contexto urbano de Vélez, dado su comportamiento casi impermeable frente a las aguas de infiltración, frenan los procesos de meteorización en profundidad, dando prelación a los eventos erosivos superficiales sobre los grandes movimiento de masa.

Es así como a pesar de observarse desarrollo de los suelos superficiales con sus horizontes típicos de 1,5 - 2 metros de profundidad, en el caso de las geoformas más estables, el accionar destructor del clima no ha alcanzado a borrar totalmente la influencia de las estructuras geológicas en el relieve redondeando su tope. Solo en los casos más drásticos, las acciones climáticas traducidas en procesos de meteorización y erosión superficial, han borrado la original disposición en escalinatas que presentan por ejemplo las laderas rectilíneas con lineamientos horizontales y escarpes mapeados.

Por lo anterior, puede afirmarse que la mayor parte de las geoformas identificadas como laderas rectilíneas con lineamientos horizontales, escalones y sus escarpes, lo son más por influencia estructural que climática o denudacional. Incluso hay alta influencia estructural en el caso de las digitaciones inclinadas que por su presencia en el tiempo se han redondeado a consecuencia de las modificaciones inducidas por las condiciones climáticas imperantes en la región en los últimos tiempos.

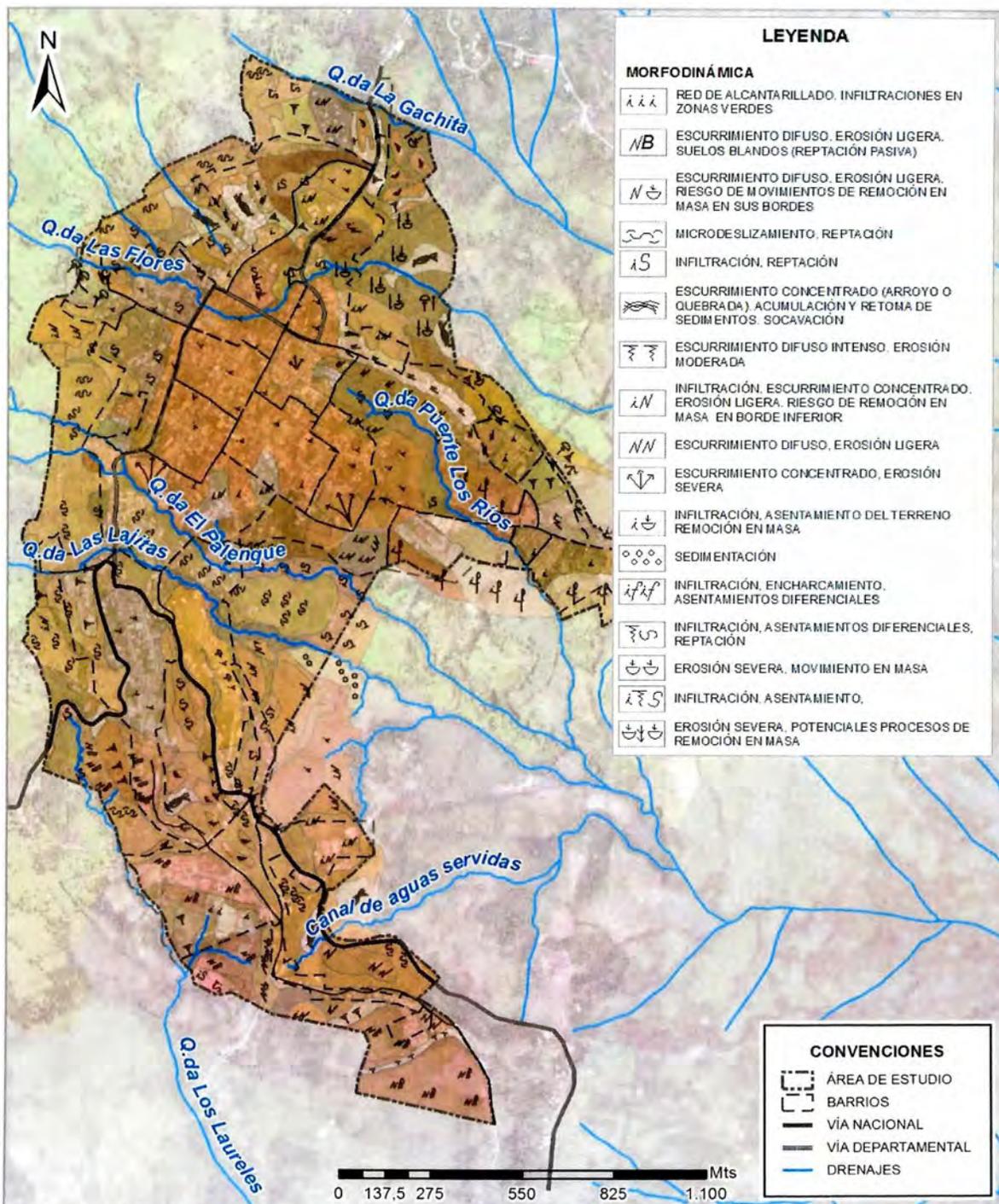
Respecto a las facetas triangulares identificadas y que groseramente se alinean de sur a norte acá identificadas como Santa Teresita, punta del interfluvio Quebrada Palenque – Quebrada La Lajita y El Amarillo, se consideran de origen tectónico (escarpes de falla); su correspondencia con el alineamiento de la quebrada Los Laureles al sur puede ser indicio de falla proveniente de la principal del río Suárez y que termina al norte del cauce principal de la quebrada Las Flores. Sin embargo, acá se les señala como probable, de accionar ya antiguo dado el deterioro de estos planos de falla y de ser objeto de comprobaciones con estudios más detallados, siendo probable que la última de las citadas tengan alguna influencia sobre lo que ocurre en los terrenos del barrio Kennedy.

Figura 103. Mapa de Unidades Geomorfológicas del area Urbana de Vélez (Plano U-07).



Fuente: Elaboración Propia

Figura 104. Mapa de morfodinámica del Casco Urbano de Vélez (Plano U-08).



Fuente: Elaboración Propia



## 5.7 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN SU AMENAZA GEOMORFOLÓGICA

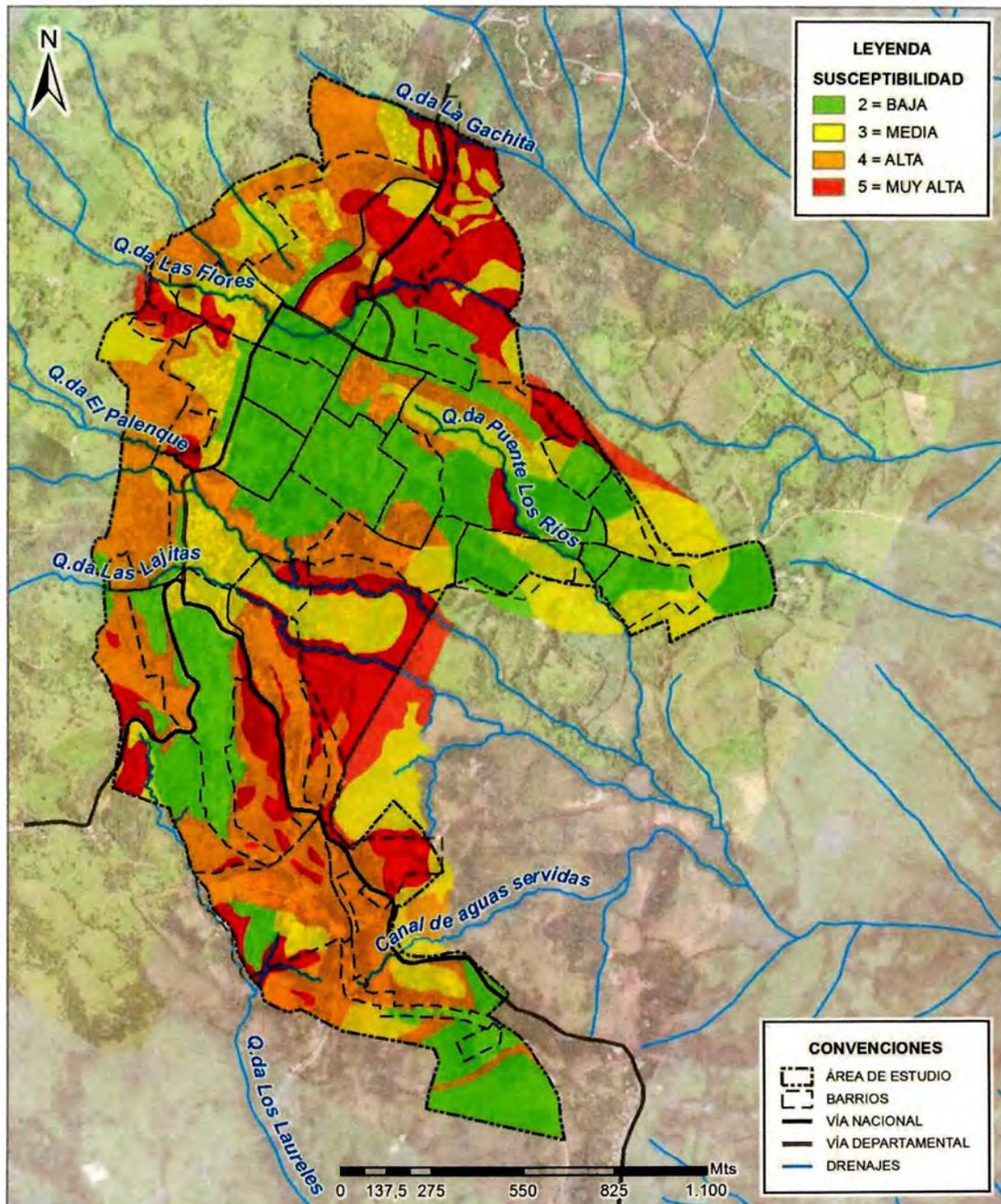
Se procedió a tener en cuenta las diferentes unidades geomorfológicas identificadas en el área urbana de Vélez y sus alrededores, considerando los terrenos geomorfológicos que las componen y precisar su vulnerabilidad geomorfológica, en términos de la presencia de suelos residuales, horizontes orgánicos superficiales, topografía y amenaza, con los resultados que aparecen en la siguiente Tabla. Se utilizaron indicadores de 1 a 5, siendo el valor 5, los componentes en proceso de desplazamiento o corrimiento; 4 para los sectores potencialmente inestabilizables en caso de intervenir con edificaciones urbanas o rurales, 3 las áreas estables pero con algunas limitaciones por las características desfavorables de los suelos superficiales o a corto plazo, 2 para las ubicaciones estables con amenazas de largo plazo (sismicidad por ejemplo) y 1 para las locaciones sin restricción alguna, prácticamente inexistentes en el caso de la Vélez urbana y suburbana.

Tabla 7. Unidades Geomorfológicas

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	NÚMERO		
Depósito de derrubios	4		4
Tope lineal de la digitación sin explanaciones	2		4
Valle triangular	2		4
Laderas rectilíneas ligeramente inclinadas	2		4
Valles colgados	2		4
Explanaciones antrópicas en escalones inclinados	2		4
Tope de Digitación	2		4
Explanaciones antrópicas	3		4
Explanaciones antrópicas en tope de digitación	3		4
Escalón	3		4
Plano inclinado de superficie ondulada	3		4
Relleno antrópico	3		4
Escalón con explanaciones de vivienda	3		4
Escalón natural	3		4
Ápice Oriental	3		4
Fondo de valle	3		4
Cabeceras valles colgados	3		4
Laderas rectilíneas inclinadas	3		4
Ladera cóncava	3		4
Ladera de baja pendiente con lineamientos horizontales	3		4
Escalón inclinado con lineamientos horizontales	3		4
Laderas cóncavas con lineamientos horizontales	3		4
Escalón antrópico con edificaciones	3		4
Plano antrópico con reptación secundaria	4		4
Explanaciones antrópicas de fondo de valle	4		4
Cicatriz de despegue de Movimiento de remoción en masa	4		4
Ladera pendiente con lineamientos horizontales	4		4
Extremidad de tope derruido	4		4
Escarpe	4		4
Coluvión	4		4
Coluvión lineal de fondo	4		4
Escalón antrópico	4		4
Ladera erosionada de modelado irregular	4		5
Escarpes laterales de valle	4		5
Laderas y salientes con lineamientos horizontales	4		5
Entrantes de erosión	4		5
Escalonamiento recubierto de derrubios	4		5
Escarpe de disección	4		5
Ladera cóncava con coluviones superficiales	4		5
Vertientes literalmente cóncavas	4		5
Espaldón Estructural	4		5
Cicatriz movimiento superficial del suelo	4		5
Fondo de valle con coluviones	4		5
Espaldón estructural lutítico	4		5
Cabecera ampliamente cóncava	5		5
Coluvión activo	5		5
Talud de derrubios antrópicos	5		5
Movimiento de remoción en masa activo	5		5
Ladera cóncava con reptación	5		5
Concavidad hacia quebrada Las Flores	5		5
Coluvión antrópico	5		5
Altos escarpes de disección	5		5
Ladera rectilínea	5		5
Plano de inundación	5		5
Valle de disección	5		5
Fondo de valle inundable	5		5
Escarpe vertical	5		5
Coluvión quebrada Palenque	5		5
Escarpes bajos	5		5
Talud de derrubios	5		5
Talud vial	5		5

Fuente: Elaboración Propia

Figura 105. Mapa de Susceptibilidad Geomorfológica del área Urbana de Vélez (Plano U-09).



Fuente: Elaboración Propia



## 6. USO Y COBERTURA DEL SUELO DE LAS AREAS URBANAS DE VELEZ, GUALILO, PALO BLANCO Y LOS GUAYABOS, MUNICIPIO DE VELEZ, DEPARTAMENTO DE SANTANDER

Como parte de los estudios necesarios para la evaluación y zonificación de la amenaza por movimientos en masa, se ha realizado el estudio del uso y de la cobertura del suelo de los territorios comprendidos en la jurisdicción del Municipio de Vélez.

El estudio tiene como alcances la identificación del uso y cobertura vegetal existentes en la zona de estudio incluida la descripción de sus características, enfocándose al tipo de vegetación presente en el territorio, su distribución espacial, así como su densidad y altura en términos relativos. Esta información sirve de insumo en la evaluación de la amenaza a fenómenos de remoción en masa.

El análisis del uso y cobertura vegetal se ha realizado haciendo distinción entre las siguientes áreas de estudio:

- Las áreas urbanas de la cabecera municipal y principales corregimientos de Vélez, incluidas las áreas de expansión urbana y suburbana (escala 1:2000)
- El área correspondiente al centro poblado de Alto Jordán (escala 1:2000)
- El área rural (escala 1:25.000)

En el presente documento se describe el uso y la cobertura vegetal de la cabecera municipal de Vélez y sus corregimientos principales, incluyendo la descripción de la metodología empleada para su estudio, las unidades de uso y cobertura del suelo encontrado, así como su extensión relativa con respecto al área de interés.

### 6.5. DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO

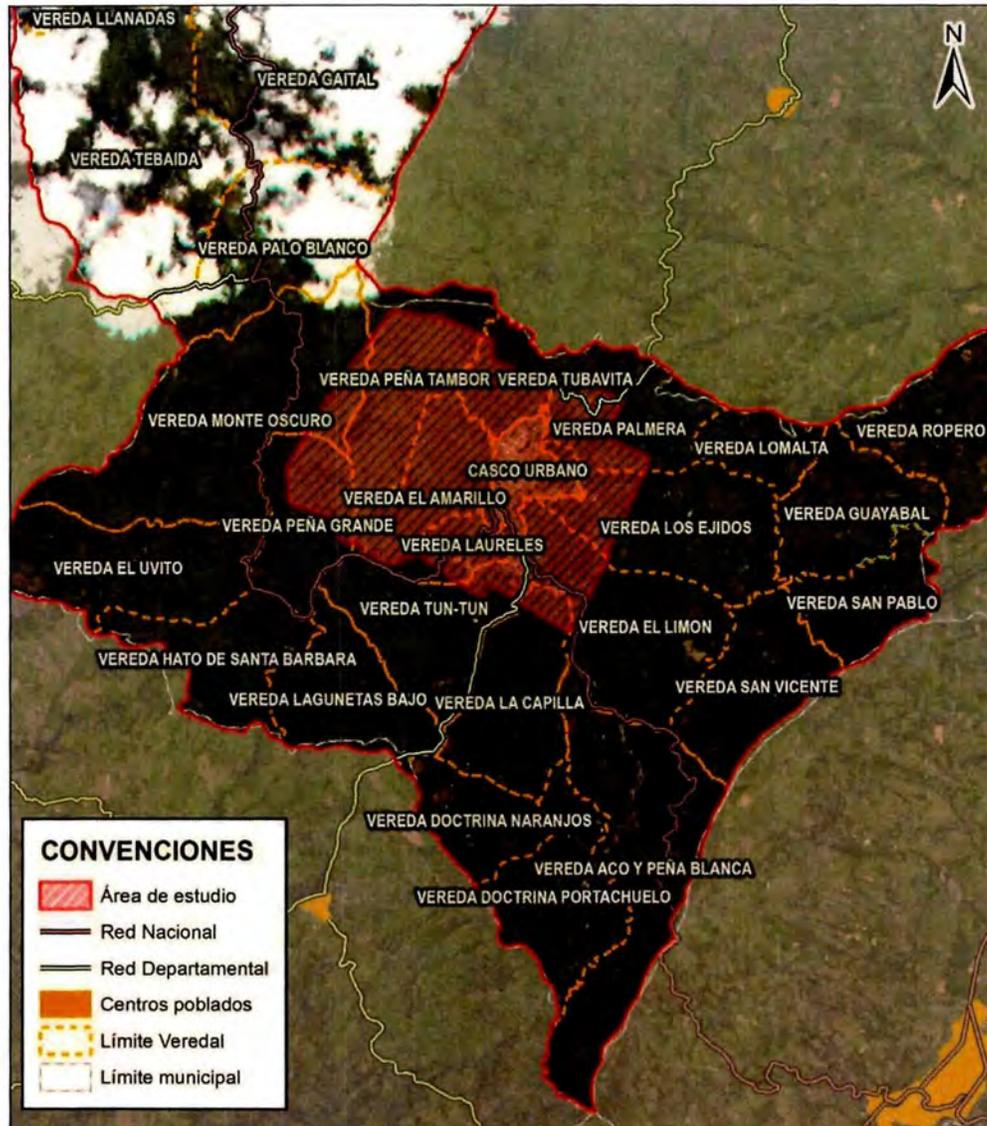
Las áreas de estudio abarcan el casco urbano de Vélez y los centros poblados de Gualilo, Palo Blanco y Los Guayabos, incluidos los territorios inmediatamente adyacentes.

La extensión del área de estudio corresponde a los territorios abarcados por el sobrevuelo realizado con el equipo UAV (*Unmanned Aerial System*), ya que los ortomosaicos generados por esta tecnología representan el principal insumo utilizado para este análisis.

Para el centro poblado de Los Guayabos, el área de estudio abarca únicamente a los caseríos ubicados sobre la vía a Palo Blanco y los terrenos inmediatamente adyacentes.

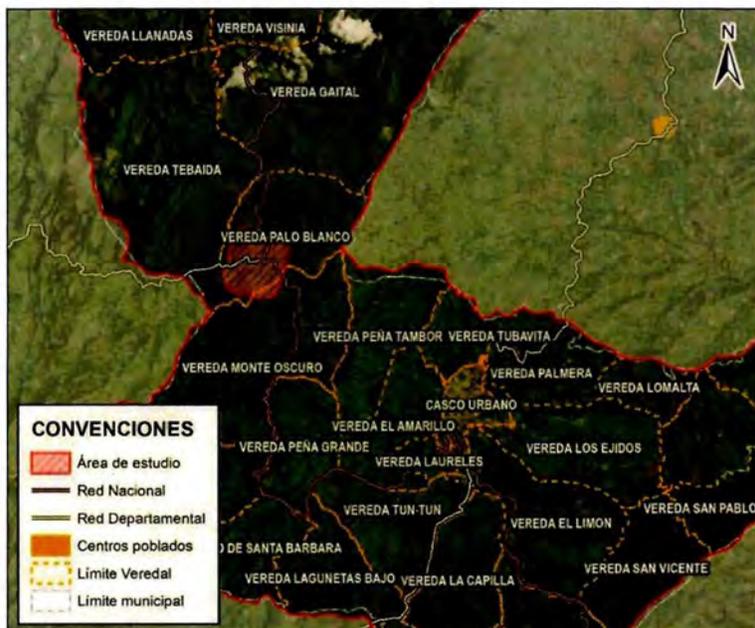
En las figuras 106 a 109 se muestra la ubicación y extensión de las áreas que se incluyeron en este estudio, para las zonas urbanas, de expansión urbana y suburbana.

Figura 106. Área de estudio urbana, de expansión urbana y suburbana. Casco urbano de Vélez.



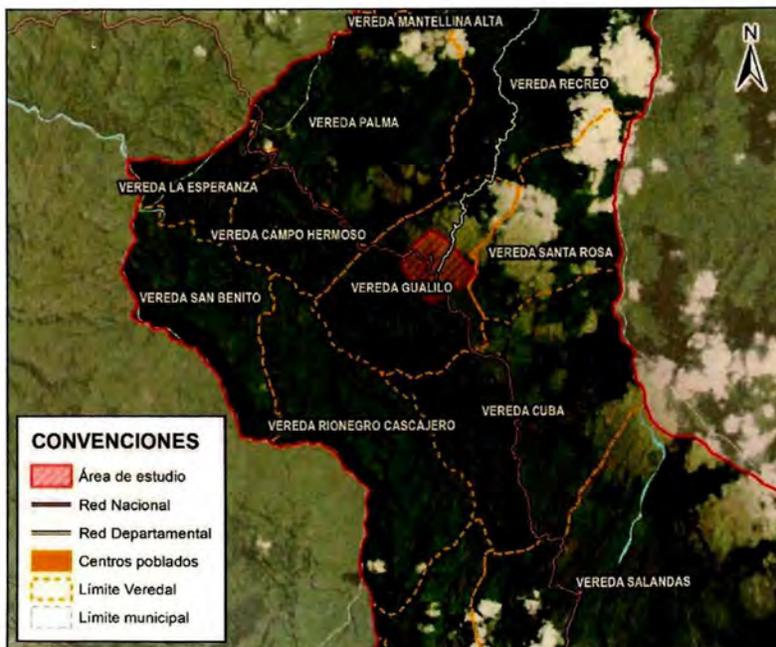
Fuente: Elaboración Propia

Figura 107. Área de estudio urbana, de expansión urbana y suburbana. Centro poblado de Palo Blanco.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 108. Área de estudio urbana, de expansión urbana y suburbana. Centro poblado Gualilo.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 109.** Área de estudio urbana, de expansión urbana y suburbana. Centro poblado Los Guayabos.



Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 8.** Áreas de estudio urbanas, de expansión urbana y suburbanas.

Zona de estudio	Área [Has]
Casco urbano de Vélez	1.544,85
Centro poblado Palo Blanco	136,79
Centro poblado Gualilo	112,34
Centro poblado Los Guayabos	12,45
<b>Total</b>	<b>1.806,42</b>

Fuente: Elaboración Propia

## 6.6. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

### 6.6.1. Unidades de cobertura y uso del suelo empleadas para el estudio

Para elaborar los mapas de uso y cobertura de las áreas en mención, se tomaron como base las unidades de cobertura adoptadas por la Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra, Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a Escala 1:100.000, elaborada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

La característica principal de la Leyenda Nacional es su estructura jerárquica, compuesta por unidades de coberturas establecidas con base en criterios fisionómicos de altura y densidad, claramente definidos y aplicables a todas las unidades consideradas para un grupo de coberturas del mismo tipo. De esta manera, se garantiza que sea posible la inclusión de nuevas unidades o la definición de nuevos niveles de unidades en caso de estudios más detallados, permitiendo su ubicación y definición rápidamente.

La Leyenda Nacional agrupa todas las coberturas existentes en el territorio nacional en 5 unidades de coberturas principales, correspondientes al Nivel 1. Cada unidad principal contiene numerosas unidades de coberturas clasificadas de manera jerárquica, pudiendo llegar hasta el nivel 6, dependiendo de la cobertura considerada.

Para el presente estudio solo se incluyeron las unidades de cobertura que se consideraron relevantes para el análisis de amenaza por remoción en masa, ajustando la definición de cada unidad de acuerdo con el nivel de detalle utilizado y las características particulares del territorio.

En la tabla 9 se reportan las categorías adoptadas por la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra que han sido tenidas en cuenta para la elaboración del presente estudio hasta el nivel 3, junto con las modificaciones realizadas en su nomenclatura. La descripción detallada de las unidades de cobertura encontradas en el área de estudio, aparece en el Capítulo 6.6.1.



**Tabla 9.** Unidades de uso y cobertura del suelo empleadas para el estudio. Área urbana, de expansión urbana y suburbana.

NIVEL JERÁRQUICO	UNIDADES ADOPTADAS POR LA LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA	UNIDADES EMPLEADAS EN ESTUDIO DE USO Y COBERTURA DEL SUELO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ
1	<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>
2	1.1. Zonas urbanizadas	1.1. Zonas urbanizadas
3	1.1.1. Tejido urbano continuo	1.1.1. Tejido urbano continuo
3	1.1.2. Tejido urbano discontinuo	1.1.2. Tejido urbano discontinuo
3	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación
3	1.2.1. Zonas industriales o comerciales	
3	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2.2. Red vial y terrenos asociados
3	1.2.3. Zonas portuarias	
3	1.2.4. Aeropuertos	
3	1.2.5. Obras hidráulicas	
2	1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	
3	1.3.1. Zonas de extracción minera	
3	1.3.2. Zonas de disposición de residuos	
2	1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas
3	1.4.1. Zonas verdes urbanas	1.4.1. Zonas verdes urbanas
3	1.4.2. Instalaciones recreativa	1.4.2. Instalaciones recreativa
1	<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>	<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>
2	2.1. Cultivos transitorios	2.1. Cultivos transitorios
3	2.1.1. Otros cultivos transitorios	2.1.1. Otros cultivos transitorios
3	2.1.2. Cereales	2.1.2. Cereales
3	2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	2.1.3. Oleaginosas y leguminosas
3	2.1.4. Hortalizas	2.1.4. Hortalizas
3	2.1.5. Tubérculos	2.1.5. Tubérculos
2	2.2. Cultivos permanentes	2.2. Cultivos permanentes
3	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos
3	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos
3	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos
3	2.2.4. Cultivos agroforestales	
3	2.2.5. Cultivos confinados	
2	2.3. Pastos	2.3. Pastos
3	2.3.1. Pastos limpios	2.3.1. Pastos limpios
3	2.3.2. Pastos arbolados	2.3.2. Pastos arbolados
3	2.3.3. Pastos enmalezados	2.3.3. Pastos enmalezados
2	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas
3	2.4.1. Mosaico de cultivos	
3	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
3	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
3	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
3	2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales
1	<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>	<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>
2	3.1. Bosques	3.1. Bosques
3	3.1.1. Bosque denso	
3	3.1.2. Bosque abierto	
3	3.1.3. Bosque fragmentado	3.1.3. Bosque fragmentado
3	3.1.4. Bosque de galería y ripario	Unidad de difícil delimitación en el área de estudio
3	3.1.5. Plantación forestal	
2	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
3	3.2.1. Herbazal	
3	3.2.2. Arbustal	
3	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2	3.3. ÁREAS SIN O CON Poca VEGETACIÓN	3.3. ÁREAS SIN O CON Poca VEGETACIÓN
3	3.3.1. Áreas arenosas naturales	
3	3.3.2. Afloramientos rocosos	3.3.2. Afloramientos rocosos
3	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
3	3.3.4. Zonas quemadas	3.3.4. Zonas quemadas
3	3.3.5. Zonas glaciares y nivales	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 10.** Unidades de uso y cobertura del suelo empleadas para el estudio. Área urbana, de expansión urbana y suburbana (continuación).

NIVEL JERÁRQUICO	UNIDADES ADOPTADAS POR LA LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA	UNIDADES EMPLEADAS EN ESTUDIO DE USO Y COBERTURA DEL SUELO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ
1	<b>4. ÁREAS HÚMEDAS</b>	<b>4. ÁREAS HÚMEDAS</b>
2	4.1. ÁREAS HÚMEDAS CONTINENTALES	Unidad de áreas húmedas continentales en el área de estudio
3	4.1.1 Zonas pantanosas	Unidad de áreas húmedas continentales en el área de estudio
3	4.1.2. Turberas	Unidad de áreas húmedas continentales en el área de estudio
3	4.1.3 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	Unidad de áreas húmedas continentales en el área de estudio
2	4.2 ÁREAS HÚMEDAS COSTERAS	Unidad de áreas húmedas costeras en el área de estudio
3	4.2.1. Pantanos costeros	Unidad de áreas húmedas costeras en el área de estudio
3	4.2.2. Salitral	Unidad de áreas húmedas costeras en el área de estudio
3	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar	Unidad de áreas húmedas costeras en el área de estudio
1	<b>5. SUPERFICIES DE AGUA</b>	<b>5. SUPERFICIES DE AGUA</b>
2	5.1 AGUAS CONTINENTALES	5.1 AGUAS CONTINENTALES
3	5.1.1 Ríos	Unidad de aguas continentales en el área de estudio
3	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	Unidad de aguas continentales en el área de estudio
3	5.1.3. Canales	Unidad de aguas continentales en el área de estudio
3	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2	5.2. AGUAS MARITIMAS	Unidad de aguas marítimas en el área de estudio
3	5.2.1. Lagunas costeras	Unidad de aguas marítimas en el área de estudio
3	5.2.2. Mares y océanos	Unidad de aguas marítimas en el área de estudio
3	5.2.3. Estanques para acuicultura marina	Unidad de aguas marítimas en el área de estudio

Fuente: Elaboración Propia

Para adaptar las unidades de cobertura de la Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra escala 1:100.000, se ajustó la unidad mínima cartografiable de manera proporcional a la escala empleada en el presente estudio (1:2.000), de la siguiente forma:

- Para territorios artificializados (categoría 1), la unidad mínima cartografiable corresponde a 20 m<sup>2</sup>, lo cual permitió discriminar la presencia de pequeñas edificaciones tanto en el contexto urbano como de expansión urbana.
- Para superficies de agua (categoría 5), la unidad mínima cartografiable corresponde a 50 m<sup>2</sup>, lo cual permitió discriminar la presencia de pequeños estanques artificiales tanto en el contexto urbano como de expansión urbana.
- Para las demás coberturas, la unidad mínima cartografiable es de 100 m<sup>2</sup>, lo cual permitió representar cartográficamente la presencia de pequeñas extensiones pertenecientes a unidades de cobertura que se encuentran inmersas dentro de otras.

#### 6.6.2. Insumos cartográficos

Para la elaboración del mapa de uso y cobertura vegetal de las áreas urbanas, de expansión urbana y suburbana, se utilizó como insumo cartográfico principal, el ortofotomosaico de fotografías aéreas obtenido por medio del equipo UAV (*Unmanned Aerial System*).

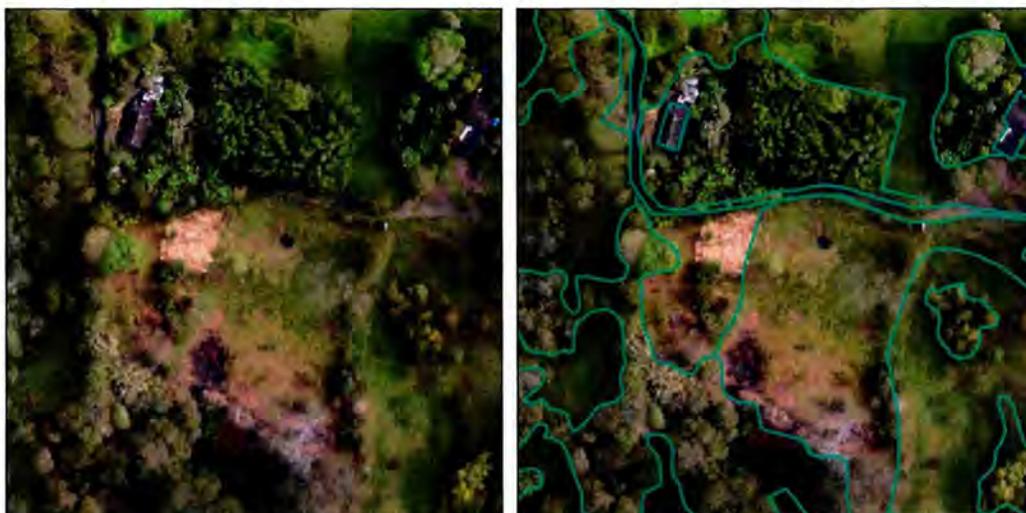
### 6.6.3. Identificación preliminar de las unidades de uso y cobertura del suelo

La identificación de las unidades de uso y cobertura del suelo se ha realizado de forma preliminar, mediante el análisis de ortofotomosaicos de fotografías aéreas del área de estudio, obtenidas por medio del equipo UAV (*Unmanned Aerial System*).

Debido a la alta resolución de los ortomosaicos y al nivel de detalle requerido, la identificación de las unidades se realizó mediante análisis visual, con el software ArcMap Versión 10.2.2, efectuando la delimitación asistida por computador de polígonos georreferenciados en formato shape sobre la imagen, con el uso de la herramienta "Crear entidades", utilizando una escala de trabajo máxima de 1:500.

A continuación, en la figura 110 se muestra un ejemplo del procedimiento llevado a cabo para la identificación de las unidades de uso y cobertura del suelo, sobre las imágenes UAV.

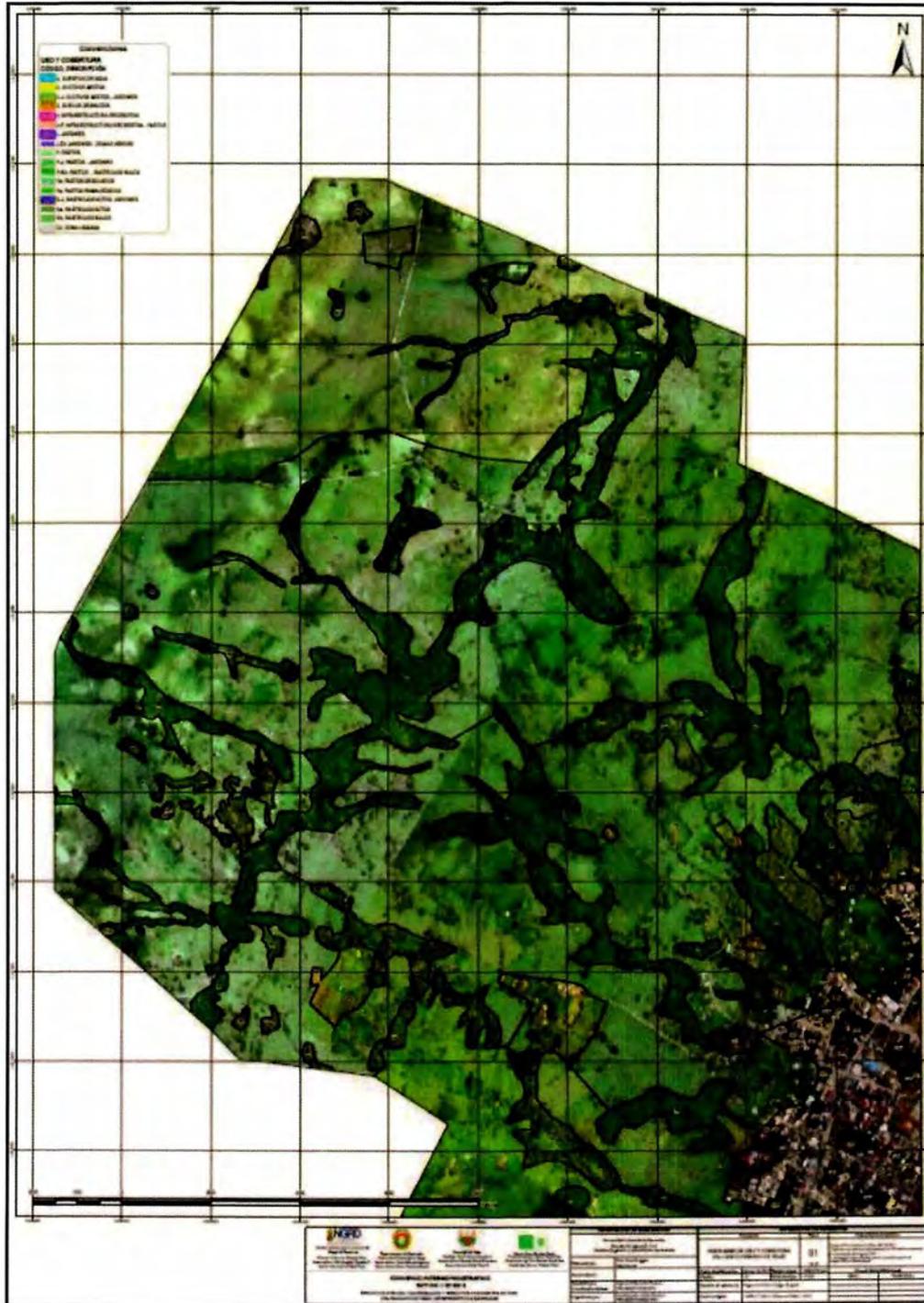
**Figura 110.** Identificación de las unidades de uso y cobertura del suelo sobre las imágenes UAV.



Fuente: Elaboración Propia

Los shapes así generados, se utilizaron para obtener mapas de uso y cobertura de suelo preliminares, que constituyeron la base para la verificación en campo de las unidades previamente identificadas y delimitadas.

Figura 111. Mapa preliminar de uso y cobertura del suelo.



Fuente: Elaboración Propia

#### 6.6.4. Validación de las unidades de cobertura delimitadas

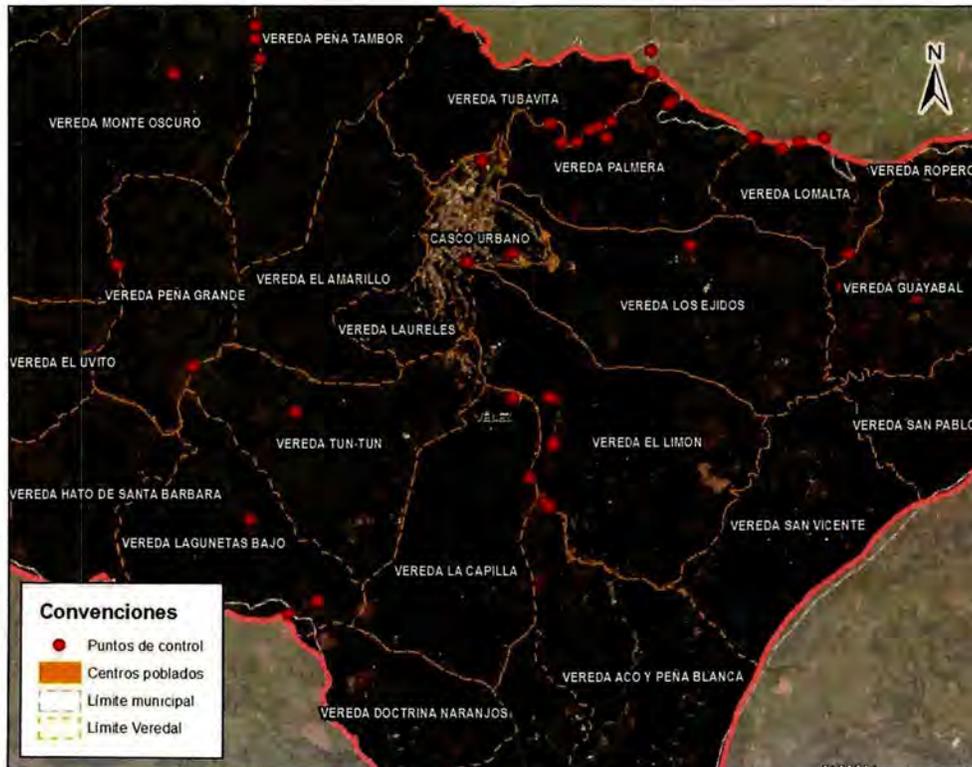
La cartografía generada en el proceso anterior fue objeto de verificación mediante visitas de campo y entrevistas a la comunidad local.

La verificación de campo se hizo mediante observaciones desde miradores ubicados en puntos estratégicos, así como en lugares puntuales en los cuales no fue posible definir con absoluta certidumbre la cobertura mediante el análisis visual de los ortomosaicos de fotografías.

En cada punto de observación se realizó la toma de registros fotográficos georreferenciados mediante equipo receptor GPS (*Global Positioning System*), con el fin de comprobar el uso y la cobertura del suelo existente en el área y su coherencia con la cartografía previamente elaborada.

En la figura 112 se muestra la ubicación de algunos puntos de control utilizados para la verificación en campo de las coberturas asignadas.

**Figura 112.** Localización de algunos puntos de control utilizados para la verificación en campo de las coberturas asignadas.



Fuente: Elaboración Propia



### 6.6.5. Depuración de la información y obtención de la cartografía final

Con base en la información recolectada y los registros fotográficos tomados durante las visitas de campo, se procedió a comprobar la pertinencia de las unidades de uso y cobertura identificadas mediante el análisis de ortofotomosaicos de fotografías aéreas.

En el caso de encontrar incongruencias entre la cartografía elaborada previamente y la situación observada en campo, se ha procedido a la edición, redelimitación y reclasificación de los polígonos, según el caso.

Como resultado del proceso de delimitación y edición de los polígonos, se generaron agujeros, zonas de traslape o polígonos de pequeña dimensión que debieron ser eliminados.

Para lo anterior se procedió a la eliminación de los polígonos con área inferior al umbral<sup>2</sup>, mediante la herramienta Suprimir (caja de herramientas Administración de datos, conjunto de herramientas Generalización).

Esta herramienta elimina los polígonos seleccionados dentro la entidad de entrada fusionándolos con los polígonos adyacentes, utilizando como criterio el área más grande o el borde compartido más largo.

Para el procesamiento de estas zonas, para el presente estudio se utilizó el criterio del área más grande.

Para la eliminación de eventuales agujeros y zonas de superposición de polígonos que se hayan generado erróneamente durante el proceso de reclasificación y edición individual de los polígonos, se procedió a la importación del shape de las coberturas a un dataset de entidades, con el fin de asignarle reglas topológicas específicas y corregir las incongruencias encontradas.

<sup>2</sup> La unidad mínima cartografiable corresponde a 20m<sup>2</sup> para territorios artificializados (categoría 1), 50 m<sup>2</sup> para superficies de agua (categoría 5) y 100 m<sup>2</sup> para las demás unidades de cobertura.

**Figura 113.** Detección y corrección de errores topológicos en el shape de uso y cobertura del suelo para la obtención del producto final.



Fuente: Elaboración Propia

## 6.7. RESULTADOS

### 6.7.1. Descripción de las unidades de uso y cobertura del suelo

Con el fin de presentar los resultados del estudio realizado y facilitar la interpretación de la cartografía resultante, en el presente capítulo se describen de forma detallada las unidades de uso y cobertura del suelo encontradas en el área de estudio.

Como se mencionó anteriormente, las unidades de uso y cobertura empleadas para este estudio, están organizadas de forma jerárquica en 5 niveles de detalle, siendo este el primer nivel el más general, en el cual se incluyeron las siguientes unidades:

1. Territorios artificializados.
2. Territorios agrícolas.
3. Bosques y áreas seminaturales.
4. Áreas húmedas.
5. Superficies de agua.

## 1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS

Comprende tanto las áreas de las cabeceras municipales y corregimientos como aquellas áreas periféricas de las mismas, que estén siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines habitacionales, comerciales, industriales, de servicios y recreativos.

### 1.1. ZONAS URBANIZADAS

Las zonas urbanizadas incluyen los territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación asociados con ellas, que configuran un tejido urbano.

#### 1.1.1. Tejido urbano continuo

Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, valles, vías, parques y superficies intervenidas artificialmente cubren más de 80% de la superficie del terreno. En ellos, la vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área del tejido urbano (Figura 114).

**Figura 114.** Delimitación de la unidad de cobertura 1.1.1 sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia

### 1.1.2. Tejido urbano discontinuo

Son espacios conformados por edificaciones, zonas verdes e infraestructura asociada que cubren la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación. Esta unidad puede presentar dificultad para su delimitación cuando otras coberturas de tipo natural y seminatural se mezclan con áreas clasificadas como zonas urbanas (Figura 115).

En el área de estudio hacen parte de esta unidad, las edificaciones que se encuentran en los alrededores del casco urbano de Vélez, así como las que componen los centros poblados de Gualilo, Palo Blanco y los Guayabos.

**Figura 115.** Delimitación de la unidad de cobertura 1.1.2 sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia

## 1.2. ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN

### 1.2.2. Red vial y terrenos asociados

Son espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como calles, caminos, carreteras y autopistas, incluyendo la infraestructura conexas y las instalaciones asociadas tales como: estaciones de servicios, parqueaderos, andenes, terraplenes y áreas verdes.

Para el presente estudio, se ha incluido en esta unidad solo la clase 1.2.2.1, correspondiente a red vial y terrenos asociados.

### 1.2.2.1. Red vial y terrenos asociados

Comprende las áreas cubiertas por la infraestructura vial, tales como carreteras, autopistas y puentes, así como las áreas asociadas como peajes, zonas verdes y zonas de estacionamiento.

En el área de estudio, se han incluido en esta unidad también los caminos y senderos existentes alrededor del casco urbano de Vélez y de los centros poblados de Gualilo y Palo Blanco, que aunque no sean pavimentados; se caracterizan por ser áreas con total ausencia de vegetación (Figura 116).

**Figura 116.** Delimitación de vías sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 117.** Delimitación de caminos sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia



#### **1.4. ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS, NO AGRICOLAS**

Comprende las zonas verdes localizadas en las áreas urbanas, en las cuales se desarrollan actividades habitacionales, comerciales, recreacionales, de conservación y amortiguación, donde los diferentes usos del suelo no requieren de infraestructura construida apreciable.

En general, estas zonas verdes son áreas resultantes de procesos de planificación urbana o áreas que por los procesos de urbanización quedaron embebidas en los perímetros urbanos respectivos.

##### **1.4.1. Zonas verdes urbanas**

Comprende las zonas cubiertas por vegetación dentro del tejido urbano, incluyendo parques urbanos y cementerios.

En el área de estudio esta unidad está representada principalmente por espacios destinados a la conformación de jardines o pequeños cultivos asociados a las viviendas urbanas, a veces en continuidad con la vegetación secundaria alta o el bosque fragmentado que se encuentran en proximidades de las quebradas que atraviesan el centro urbano de Vélez.

Estas áreas, se han clasificado como otras zonas verdes urbanas, puesto que no corresponden a ninguna categoría específica de zona verde urbana, como son los parques urbanos y los jardines botánicos, entre otras unidades descritas dentro de esta categoría por la Leyenda Nacional.

Debido a que los parques urbanos existentes se encuentran encementados, se ha considerado oportuno incluirlos dentro del tejido urbano continuo.

##### **1.4.1.1. Otras zonas verdes urbanas**

En el área de estudio esta unidad es representada por los jardines internos de las casas existentes dentro del tejido urbano continuo, así como por las áreas verdes perimetrales al centro urbano que no son clasificables en otra unidad de cobertura (Figura 118).

Se trata de áreas verdes, en la mayoría de los casos de pequeña extensión, que pueden incluir prados, pequeños cultivos domésticos (plátano, yuca, cítricos, entre otros) y presencia de árboles y arbustos ornamentales, así como pequeños fragmentos de vegetación natural que han quedado embebidos dentro del perímetro urbano.

Figura 118. Delimitación de la unidad 1.4.1.1 sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia

#### 1.4.1.2. *Parques cementerios*

Están representados por las áreas destinadas para el entierro de los cadáveres de los difuntos; puesto que se caracterizan por presentar áreas verdes cubiertas con pastos, arbustos y/o árboles, se incluyen en las zonas verdes urbanas.

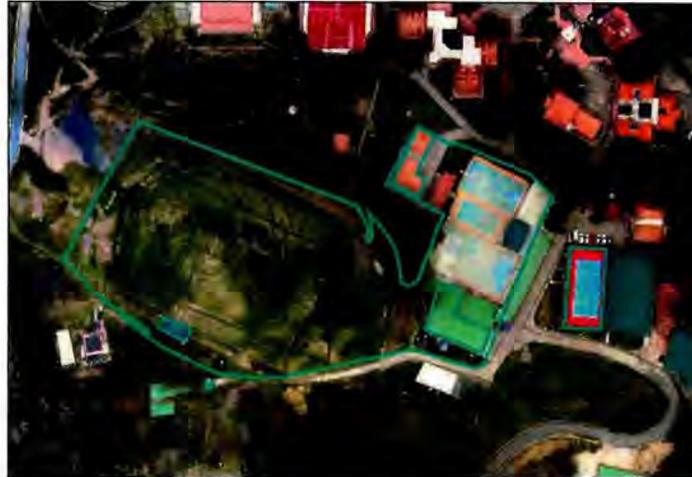
#### 1.4.2. *Instalaciones recreativas*

Son los terrenos dedicados a las actividades deportivas, polideportivos o canchas múltiples y otras actividades de recreación y esparcimiento, incluyendo los Parques habilitados para esparcimiento no incluidos dentro del tejido urbano. En el área de estudio esta unidad está representada principalmente por la unidad 1.4.2.2, correspondiente a áreas deportivas.

#### 1.4.2.2. *Áreas deportivas*

Comprende las áreas habilitadas para la realización de actividades deportivas como son canchas, piscinas, etc. En el área de estudio se han incluido las canchas y otras áreas deportivas ubicadas fuera del tejido urbano continuo (Figura 119).

**Figura 119.** Delimitación de la unidad de cobertura 1.4.2.2 sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia

## **2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS**

Son los terrenos dedicados principalmente al cultivo de plantas con destino a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o rastrojo. Comprende las áreas dedicadas a cultivos transitorios, cultivos permanentes, áreas de pastos incluidas las zonas agrícolas heterogéneas, en las cuales también se pueden dar usos pecuarios, además de los agrícolas.

Comprenden cuatro (4) unidades principales:

- 2.1 Cultivos transitorios
- 2.2 Cultivos permanentes
- 2.3 Pastos
- 2.4 Áreas agrícolas heterogéneas

### **2.1. CULTIVOS TRANSITORIOS**

Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, llegando incluso a ser de sólo unos pocos meses, como por ejemplo los cereales (maíz, trigo, cebada y arroz), los tubérculos (papa y yuca), las oleaginosas (el ajonjolí y el algodón), la mayor parte de las hortalizas y algunas especies de flores a cielo abierto. Tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo.

A continuación se describen las principales unidades que se identificaron dentro del área de estudio.

### 2.1.2. Cereales

Cobertura compuesta principalmente por cultivos transitorios de gramíneas como arroz, maíz, sorgo, cebada y trigo.

De acuerdo con la información disponible y el reconocimiento de campo, en el área de estudio esta unidad está representada principalmente por cultivos de maíz.

#### 2.1.2.2. Maíz

Tierras que presentan una cobertura vegetal compuesta por plantas herbáceas de la familia de las gramíneas, de altura muy variable (entre 60 cm y 3 m), hojas grandes, y fruto en espiga, que se cultiva tanto para consumo humano y también como planta forrajera (Figura 120).

Figura 120. Cultivos de maíz observados en el área de estudio, vista hacia al norte sobre la vía a Los Guayabos - Barbosa.



Fuente: Elaboración Propia

### 2.1.3. Oleaginosas y leguminosas

Cobertura compuesta principalmente por cultivos transitorios de plantas para el consumo y la producción de aceite y almidón. Las oleaginosas se caracterizan por ser plantas cuyas semillas se consumen o utilizan para la extracción de aceite. Las tierras agrícolas cubiertas por las leguminosas abarcan una amplia variedad de productos, ricos en almidón.

De acuerdo con la información disponible y el reconocimiento de campo, en el área de estudio esta unidad es representada principalmente por cultivos de frijol de muy pequeña extensión (alrededor de 0,2 Has).

### 2.1.3.3. Frijol

Cobertura terrestre perteneciente a la familia *Fabaceae*, cuya semilla es comestible (Figura 121)

**Figura 121.** Cultivos de frijol observados en el área de estudio, vista hacia al noroeste sobre la vía a Chipatá.



Fuente: Elaboración Propia

### 2.1.4. Hortalizas

Cobertura terrestre de manejo intensivo caracterizada por ser un conjunto de plantas herbáceas, cultivadas generalmente en huertas, que se consumen como alimento humano. Se hace en pequeñas extensiones, dándole máximo cuidado y manteniendo el suelo constantemente ocupado.

En el área de estudio este tipo de cobertura se encuentra a menudo en pequeñas extensiones y asociada con pastos y vegetación natural, por lo tanto se le ha incorporado en la unidad 2.4 correspondiente a áreas agrícolas heterogéneas.

### 2.1.5. Tubérculos

Cobertura compuesta principalmente por cultivos transitorios de diferentes tipos de plantas que poseen tubérculos. Un tubérculo es un tallo subterráneo modificado y engrosado donde

se acumulan los nutrientes de reserva para la planta. Esta cobertura la componen principalmente cultivos de papa en condiciones de clima frío y yuca en climas cálidos y medios.

En el área de estudio este tipo de cobertura se encuentra a menudo en pequeñas extensiones y asociada con pastos y vegetación natural; por lo tanto en la mayoría de los casos se ha incorporado en la categoría 2.4 correspondiente a áreas agrícolas heterogéneas.

En el área de estudio este tipo de cobertura se encuentra a menudo en pequeñas extensiones y asociada con pastos y vegetación natural; por lo tanto en la mayoría de los casos se ha incorporado en la categoría 2.4 correspondiente a áreas agrícolas heterogéneas.

#### 2.1.5.2. Yuca

Cobertura terrestre propia de las regiones cálidas y húmedas de la zona intertropical. La yuca (*Manihot esculenta* Crantz.) es un arbusto perenne de la familia de las euforbiáceas. La yuca es cultivada por su raíz almidonosa de alto valor alimentario (Figura 122).

**Figura 122.** Cultivos de yuca observados en el área de estudio, vista hacia al noroeste sobre la vía a Chipatá.



Fuente: Elaboración Propia



## 2.2. CULTIVOS PERMANENTES

Comprende los territorios dedicados a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a un año, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar; se incluyen en esta categoría los cultivos de herbáceas como la caña de azúcar, plátano y banano; también los cultivos arbustivos como café y cacao y los cultivos arbóreos como palma africana y los árboles frutales.

### 2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos

Cobertura compuesta principalmente por cultivos permanentes de hábito herbáceo como la caña de azúcar, plátano, banano y tabaco. Las herbáceas son plantas que no presentan órganos leñosos; son verdes y con ciclo de vida vegetativo anual.

#### 2.2.1.2. Caña

Cobertura compuesta principalmente por cultivo de caña (*Saccharum officinarum* L.), establecidos generalmente entre los 800 y 1.800 msnm. El cultivo de caña puede estar presente en grandes o pequeñas extensiones de acuerdo con la zona geográfica y el producto final de comercialización.

Dentro de la caña, se diferencian dos tipos de caña de acuerdo con su destino final: caña de azúcar y caña panelera.

De acuerdo a la información disponible y las visitas de campo, en el área de estudio esta unidad es muy escasamente representada o ausente. Sin embargo, se registran amplias extensiones de estos cultivos en el área rural, fuera del perímetro urbano de Vélez.

#### 2.2.1.3. Plátano

Cobertura compuesta predominantemente por cultivos de plátano (*Musa paradisiaca* L.), planta herbácea perenne gigante de la familia Musaceae, con rizoma corto y tallo aparente, que resulta de la unión de las vainas foliares, de forma cónica y con altura que varía entre 3,5 y 7,5 m de altura, que termina en una corona de hojas. Las hojas son muy grandes y dispuestas en forma de espiral. El plátano puede encontrarse asociado con otros cultivos como el café y los frutales (Figura 123).

En el área de estudio se hace referencia a esta categoría para delimitar exclusivamente monocultivos de plátano o en asociación con café.

### 2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos

Coberturas permanentes ocupadas principalmente por cultivos de hábito arbustivo como café, cacao, coca y viñedos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0.5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAO, 2001).

De acuerdo a la información disponible y las visitas de campo, en el área de estudio los terrenos pertenecientes a esta unidad son muy escasos o de pequeña extensión, debido a que tales cultivos se encuentran prevalentemente en asociación con otras coberturas.

De acuerdo a lo anterior, estos terrenos se han incorporado en la categoría 2.4, correspondiente a áreas agrícolas heterogéneas.

**Figura 123.** Cultivos de plátano en asociación con café ubicados en proximidad de las viviendas.  
Vereda la Capilla. Vía a Guaratá.



Fuente: Elaboración Propia

#### 2.2.2.2. **Café**

Cobertura predominantemente compuesta por áreas dedicadas al cultivo de café (*Coffea sp.*) bajo sombrío (temporal o permanente, bajo una cobertura arbórea de sombrío) o a libre exposición. Los cafetos son arbustos de las regiones tropicales del género *Coffea* de la familia *Rubiaceae*.

En el área de estudio, se registra exclusivamente la presencia de cultivos bajo sombra, en la mayoría de los casos de pequeña extensión y en asociación con otros cultivos, pastos y vegetación natural. De acuerdo a lo anterior los terrenos con esta cobertura se han incorporado en la categoría 2.4., correspondiente a áreas agrícolas heterogéneas.

#### 2.2.2.3. **Cacao**

Cobertura en la que predomina el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*), planta perenne arbustiva de tallo leñoso, que alcanza alturas de hasta 4,5 m. Su cultivo se establece principalmente en regiones de clima cálido y templado (0-1.500 msnm). Crece a libre exposición o bajo sombra, requiriendo un óptimo de lluvia que varía entre 1.800 a 2.500 mm/año, con alta humedad relativa.

En el área de estudio, se registra la presencia de cultivos de pequeña extensión y en asociación con otros cultivos, pastos y vegetación natural. De acuerdo a lo anterior, los terrenos con esta cobertura se han incorporado en la categoría 2.4., correspondiente a áreas agrícolas heterogéneas.



### 2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos

Cobertura principalmente ocupada por cultivos de hábito arbóreo, diferentes de plantaciones forestales maderables o de recuperación, como cítricos, guayabos, palma, mango, etc.

En el área de estudio esta unidad es escasamente representada o se encuentra en muy pequeñas extensiones y en asociación con otros cultivos, pastos y vegetación natural. De acuerdo a lo anterior los terrenos con esta cobertura se han incorporado en la categoría 2.4., correspondiente a áreas agrícolas heterogéneas.

Cabe resaltar que en el territorio municipal se observa la presencia abundante de guayabos (*Psidium guajava* L.) en estado silvestre, que representan la fuente principal de materia prima para la producción de bocadillos. Sin embargo, no se registra la presencia de cultivos de guayaba, cuya siembra es ocasional y escasa, encontrándosele principalmente en huertos próximos a las viviendas rurales, asociados con otras especies ornamentales y frutales.

## 2.3. PASTOS

Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por gramíneas, dedicadas a pastoreo permanente por un período de dos o más años. Algunas de las categorías definidas pueden presentar anegamientos temporales o permanentes cuando están ubicadas en zonas bajas o en depresiones del terreno. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas principalmente, y en el manejo posterior que se les hace.

Para su clasificación se consideraron las siguientes unidades de pastos:

### 2.3.1. Pastos limpios

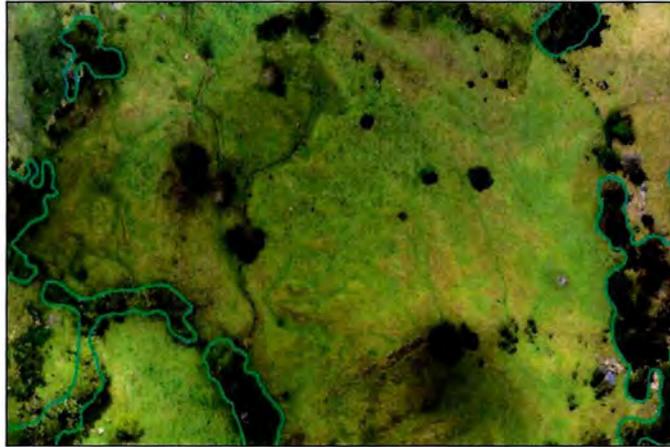
Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalado y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados, impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas.

Incluye pastos limpios con presencia esporádica de árboles y/o arbustales, con cubrimiento menor al 30% del área de pastos (Figura 124).

Cuando las áreas cubiertas por pastos limpios son abandonadas por periodos largos (seis meses o más) se puede presentar el crecimiento de arbustos y el desarrollo de vegetación de sucesiones tempranas, debiéndose clasificar como pastos enmalezados o vegetación secundaria o en transición, dependiendo de la cobertura dominante presente (unidades 2.3.3./3.2.3.), conocidos también como rastrojos.

En el área de estudio, esta es la cobertura predominante siendo destinada principalmente a uso ganadero tradicional no tecnificado, con predominancia de pastos de gordura (*Melinis minutiflora*) y gramas nativas.

**Figura 124.** Delimitación de la unidad pastos limpios (2.3.1) sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 125.** Pastos limpios en asociación con vegetación secundaria baja y bosque fragmentado con vegetación secundaria. Vista hacia el norte, vía a Chipatá.



Fuente: Elaboración Propia

### 2.3.2. Pastos arbolados

Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han establecido potreros con presencia de árboles de altura superior a cinco metros, distribuidos en forma dispersa. La cobertura de árboles debe ser mayor a 30% y menor a 50% del área total de la unidad de pastos.

En Colombia, se ubican en general sobre áreas planas ganaderas de climas cálidos, principalmente en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Córdoba, Cesar, Magdalena, Santander, Sucre, Valle del Cauca y Caldas.

En las áreas de estudio se encuentran ubicados en alrededores de las áreas urbanas, en asociación con pastos limpios y vegetación secundaria baja y alta o bosque fragmentado (Figura 126).

Entre las especies arbóreas registradas en esta unidad de cobertura se destacan el guayacán (*Tabebuia sp.*), eucalipto (*Eucalyptus sp.*), pino (*Pinus patula*), aliso (*Alnus jourullensis*), ciprés (*Cupressus lusitanica*) arrayán (*Myrcia popayanensis*), carbonero (*Albizia carbonaria*), guayabo (*Psidium guajava*), sauce (*Salix sp.*), urapán (*Fraxinus chinensis*), manchador (*Vismia sp.*), cucharo (*Rapanea guianensis*), guamo (*Inga sp.*) y balso (*Ochroma pyramidale*).

Figura 126. Delimitación de la unidad pastos arbolados (2.3.2) sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia

### 2.3.3. Pastos enmalezados

Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas, conformando asociaciones de vegetación secundaria, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono. En general la altura de la vegetación secundaria es inferior a 1.5 m.

En el área de estudio se registran pequeñas extensiones de esta cobertura, en asociación con cultivos, vegetación secundaria baja y alta o bosque fragmentado (Figura 127).

En esta unidad se registra la presencia de especies herbáceas y arbustivas como el Helecho de marrano (*Pteridium aquilinum*), helecho patagallina (*Dicranopteris bifida*), rabo de zorro (*Andropogon bicornis*), salvia (*Eupatorium inulaefolium*), mortiños (*Miconia albicans* y *M. rufescens*), dormidera (*Mimosa pigra*), cordoncillo (*Piper sp*) y guayabo cimarrón (*Psidium guianensis*).

**Figura 127.** Pastos enmalezados en asociación con vegetación secundaria alta (al fondo a la izquierda). Vereda Tuvabita. Detrás de la cárcel.



Fuente: Elaboración Propia

## 2.4. ÁREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS

Son unidades que reúnen dos o más clases de coberturas agrícolas y naturales, dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales; los arreglos geométricos generalmente cuadráticos o rectangulares, están relacionados con el tamaño reducido de los predios (minifundios), las condiciones locales de los suelos, las prácticas de manejo utilizadas y las formas locales de tenencia de la tierra.

De acuerdo a la información disponible y las visitas de campo, se han identificado las unidades que se reportan a continuación:

### 2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos

Comprende las tierras ocupadas por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual.

En el área de estudio se han incluido en esta unidad los terrenos asociados a vivienda, en donde se observa una mezcla de pastos y cultivos de subsistencia (plátano, café, tubérculos y otros), con una escasa presencia de árboles ornamentales (Figura 128).

**Figura 128.** Delimitación de la unidad mosaico de pastos y cultivos (2.4.2) sobre imagen UAV.



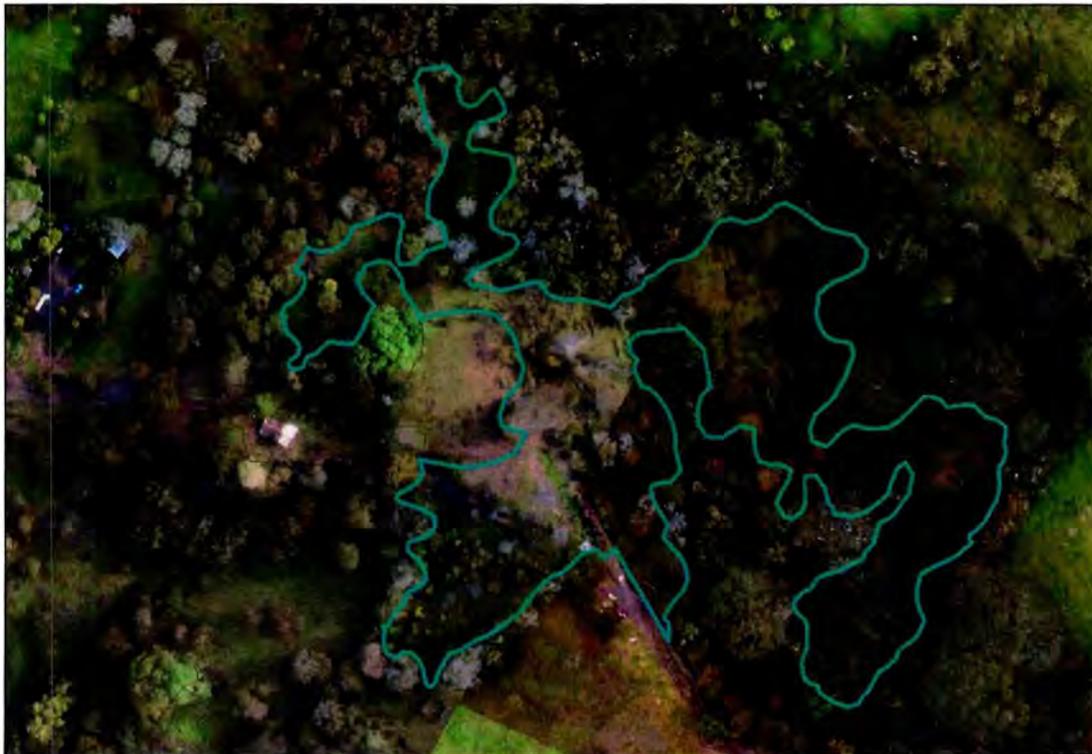
Fuente: Elaboración Propia

### 2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales

Comprende las superficies del territorio ocupadas principalmente por coberturas de cultivos y pastos en combinación con espacios naturales (Figura 129). En esta unidad, el patrón de distribución de las coberturas no puede ser representado individualmente. Las áreas de cultivos y pastos ocupan entre 30% y 70% de la unidad.

Los espacios naturales están conformados por las áreas ocupadas por relictos de bosque natural, arbustales, bosque de galería o riparios, vegetación secundaria o en transición, pantanos y otras áreas no intervenidas o poco transformadas, que debido a limitaciones de uso, por sus características biofísicas permanecen en estado natural o casi natural.

**Figura 129.** Delimitación de la unidad mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales (2.4.3) sobre imagen UAV.



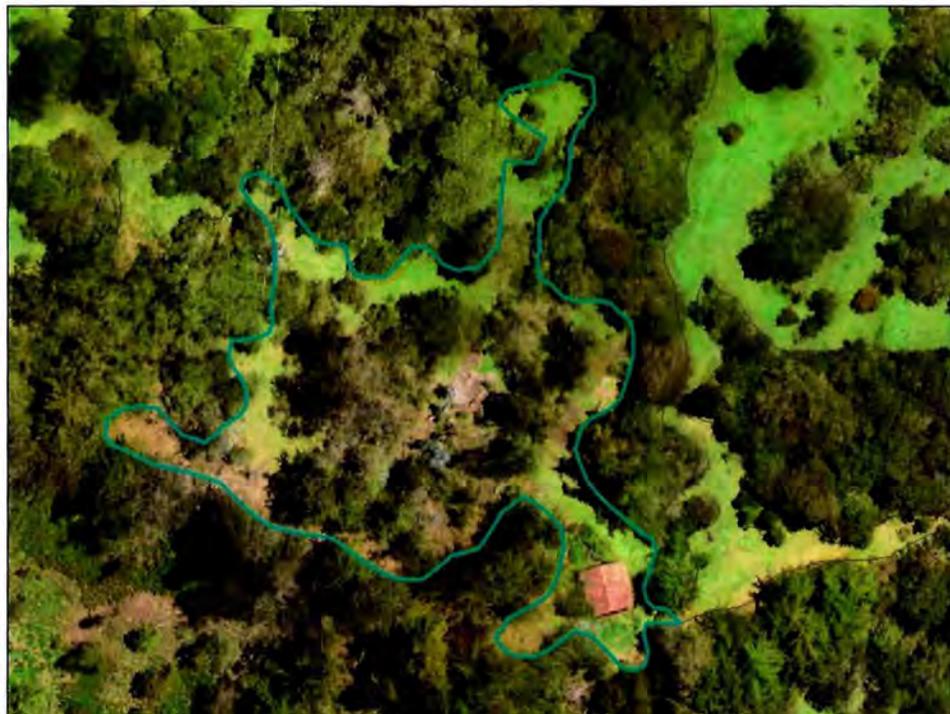
Fuente: Elaboración Propia

#### 2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales

Constituida por las superficies ocupadas principalmente por coberturas de pastos en combinación con espacios naturales. En esta unidad, el patrón de distribución de las zonas de pastos y espacios naturales no puede ser representado individualmente; en ellos las coberturas de pastos representan entre el 30% y el 70% de la superficie total del mosaico.

Los espacios naturales están conformados por las áreas ocupadas por relictos de bosque natural, arbustales (rastros), bosque de galería o riparios, vegetación secundaria o en transición, pantanos y otras áreas no intervenidas o poco transformadas, que debido a limitaciones de uso por sus características biofísicas, permanecen en estado natural o casi natural (Figura 130).

**Figura 130.** Delimitación de la unidad mosaico de pastos con espacios naturales (2.4.4) sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia

#### 2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales

Corresponde a las superficies ocupadas principalmente por cultivos en combinación con espacios naturales, donde el tamaño de las parcelas es muy pequeño y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual. En esta unidad, los espacios naturales se presentan como pequeños parches o relictos que se distribuyen en forma irregular y heterogénea, a veces entremezclada con las áreas de cultivos, dificultando su diferenciación. Las áreas de cultivos representan entre 30% y 70% de la superficie total de la unidad. Los parches boscosos y espacios naturales están conformados por aquellas áreas cubiertas por relictos de bosques, arbustales (rastros), bosque de galería y/o ripario, vegetación secundaria o en transición, zonas pantanosas u otras áreas no intervenidas o poco transformadas que permanecen en estado natural o casi natural (Figura 131).

**Figura 131.** Delimitación de la unidad mosaico de cultivos con espacios naturales (2.4.5) sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia



### 3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo arbóreo, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, que son el resultado de procesos sucesionales climáticos; también por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos de degradación. De acuerdo a lo establecido en la leyenda de coberturas de la tierra de Colombia, en esta categoría se incluyen otras coberturas que son el resultado de un fuerte manejo antrópico, como son las plantaciones forestales y la vegetación secundaria o en transición.

Esta categoría comprende tres (3) unidades principales:

- 3.1. Bosques
- 3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustos
- 3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación

#### 3.1. BOSQUES

Comprende las áreas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal, que tiene una copa amplia más o menos definida.

De acuerdo con la FAO (2001), esta cobertura comprende los bosques naturales y las plantaciones forestales. Para la leyenda de coberturas de la tierra de Colombia, en esta categoría se incluyen otras formas biológicas naturales, tales como la palma y la guadua.

Para efectos de clasificación de unidades de la Leyenda Nacional, los bosques están determinados por la presencia de árboles que deben alcanzar una altura del dosel, mayor o superior a los cinco metros. Para su diferenciación, los bosques han sido clasificados de acuerdo con tres criterios fisonómicos estructurales fácilmente observables en imágenes de sensores remotos como son la densidad y la altura, y un elemento interpretable del terreno que se puede inferir del sensor como es la condición de drenaje.

De acuerdo a lo establecido en la Leyenda Nacional, la densidad se definió como el porcentaje de cobertura de copas. Por su parte, la cobertura de copas, corresponde al porcentaje del suelo o del terreno ocupado por la proyección perpendicular de la vegetación (estratificación horizontal) en su conjunto, o por uno de sus estratos (FAO, 1996). Una cobertura densa corresponde a una cobertura arbórea mayor a 70% de la unidad, en la cual las copas se tocan o entrelazan. Una cobertura se considera abierta cuando la cobertura arbórea representa entre 30% y 70% del área total de la unidad, en la cual la mayoría de las copas no se tocan entre sí.

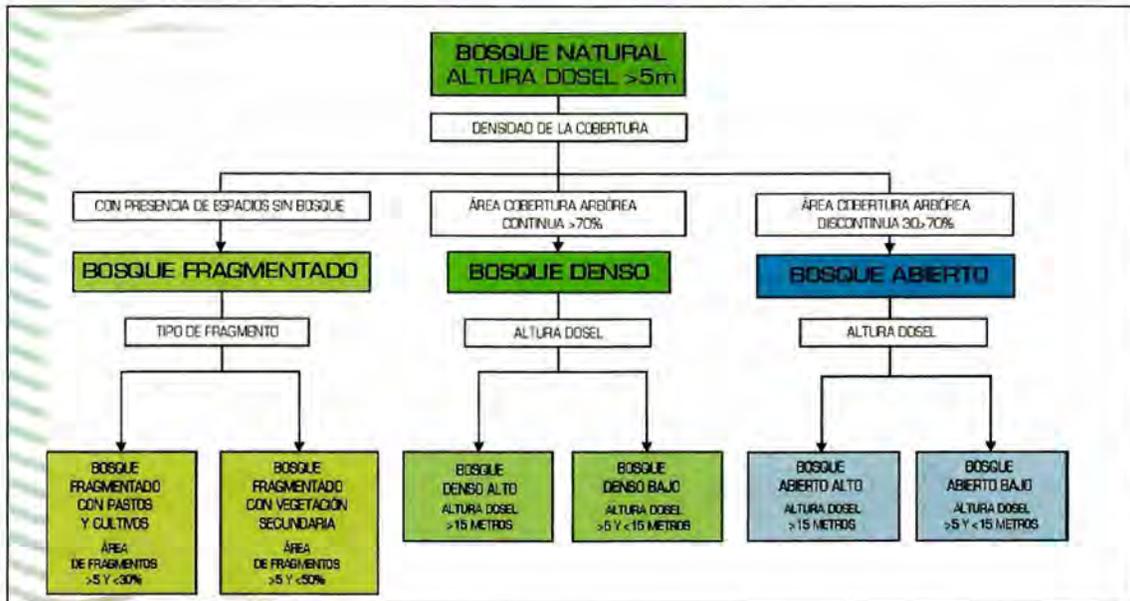
La altura es definida por la altura total del dosel, sin incluir ejemplares emergentes, distinguiéndose un estrato bajo, compuesto por árboles de altura hasta los 15 m, y un estrato alto, con árboles de altura superior a 15 metros.



Para la interpretación de las coberturas de la tierra, los bosques se clasifican, entonces, a partir de la densidad de la cobertura arbórea, en densos y abiertos; de acuerdo con la altura del dosel, los bosques se clasifican en altos y bajos; y de acuerdo con la condición de inundabilidad del terreno donde se ubican los bosques, se clasifican en inundables y de tierra firme (Figura 132).

En el área de estudio, la vegetación natural (bosque primario) ha sido severamente intervenida y la actualmente existente es de origen secundario y se encuentra en asociación con parches de vegetación secundaria alta y baja. De acuerdo a lo anterior, estas formaciones vegetacionales, se han clasificado como bosque fragmentado (unidad 3.1.3).

Figura 132. Clasificación de los bosques adoptada por la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra.



Fuente: Leyenda CORINE Land Cover adaptada para Colombia

### 3.1.1. Bosque denso

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad, y con altura del dosel superior a cinco metros. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no se ha alterado su estructura original ni las características funcionales (IGAC, 1999). Se exceptúan de esta unidad los bosques fragmentados, los cuales se clasifican en la unidad 3.1.3.



En el área de estudio esta unidad no se encuentra, debido a que toda la vegetación existente es de origen secundario y se encuentra en asociación con parches de vegetación secundaria alta y baja.

### **3.1.2. Bosque abierto**

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo, con altura del dosel superior a cinco metros y cuya área de cobertura arbórea representa entre 30% y 70% del área total de la unidad. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales. Se exceptúan de esta unidad, los bosques fragmentados, los cuales se clasifican en la unidad 3.1.3.

En el área de estudio esta unidad no se encuentra, debido a que toda la vegetación existente es de origen secundario y se encuentra en asociación con parches de vegetación secundaria alta y baja.

### **3.1.3. Bosque fragmentado**

Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales densos o abiertos cuya comunidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de cobertura como pastos, cultivos o vegetación en transición, las cuales deben representar entre el 5% y el 30% del área total de la unidad de bosque natural.

#### **3.1.3.1. Bosque fragmentado con pastos y cultivos**

Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales donde se ha presentado intervención humana de tal manera que el bosque mantiene su estructura original. Las áreas de intervención están representadas en zonas de pastos y cultivos, las cuales se observan como parches de variadas formas y distribución irregular dentro de la matriz del bosque. Las áreas de pastos y cultivos deben representar entre 5% y 30% del área total de la unidad de bosque natural. Corresponde a áreas en proceso de colonización.

En el área de estudio esta unidad se encuentra escasamente representada y los parches de pastos y cultivos existentes dentro de las áreas boscosas son fácilmente reconocibles y se han clasificado por separado como áreas agrícolas heterogéneas (unidad 2.4).

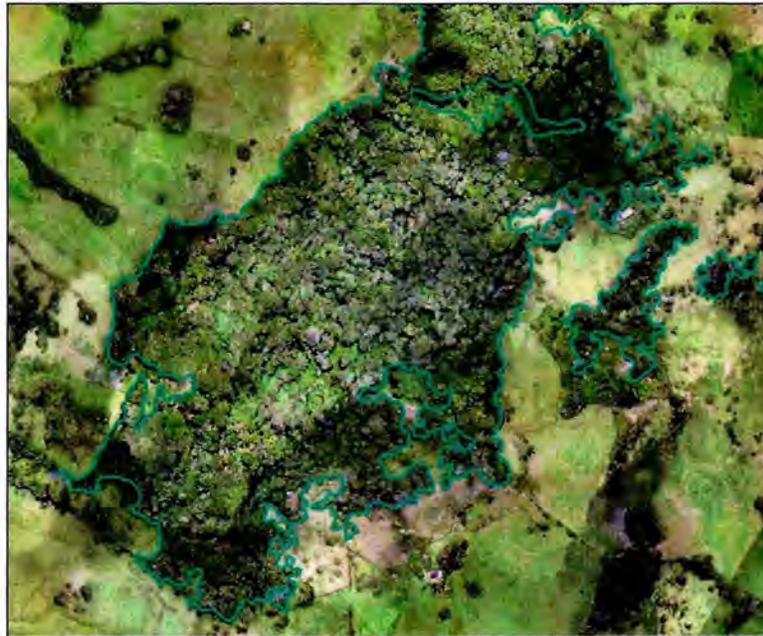
#### **3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria**

Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales donde ya se presentó la intervención humana y la recuperación del bosque, de tal manera que el bosque mantiene su estructura original. Las áreas de intervención están representadas en zonas de vegetación secundaria, las cuales se observan como parches de variadas formas que se distribuyen de forma irregular en la matriz de bosque. Su origen es debido al abandono de áreas de pastos y cultivos, donde ocurre un proceso de regeneración natural del bosque en los primeros estados de sucesión vegetal. Los parches de intervención deben representar entre 5% y 50% del área total de la unidad (Figura 133).

En el área de estudio esta unidad es representada por zonas de bosque con parches de vegetación secundaria rodeadas por áreas extensas de pastos limpios, arbolados y/o enmalezados. En algunos casos se desarrolla en continuidad con bosque de galería lo que hace difícil discriminarla entre estas dos unidades.

Entre las especies arbóreas presentes en esta unidad de cobertura se destacan el aro o nacedero (*Trichanthera gigantea*), lechero (*Sapium sp.*), amarillo (*Nectandra ferruginea*), manchador (*Vismia baccifera*), y otras especies típicas de bosque intervenidos, como son el guarumo (*Cecropia*), balso (*Ochroma pyramidale*), balso blanco (*Heliocarpus popayanensis*), látigo (*Trema mycrantha*) y guamo (*Inga sp.*). Se registra además la presencia de guadua (*Bambusa guadua*), principalmente en correspondencia de áreas húmedas y cuerpos de agua.

**Figura 133.** Delimitación del bosque fragmentado con vegetación secundaria sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.4. *Bosque de galería y ripario*

Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Cuando la presencia de estas franjas de bosques ocurre en regiones de sabanas naturales, se conoce como bosque de galería. Las otras franjas de bosque en cursos de agua de zonas andinas son conocidas como bosque ripario.



En el área de estudio, corresponde a la vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua que por costumbre como medida protectora de las aguas se le deja a lado y lado de las quebradas, se encuentra asociada a vegetación secundaria alta y baja, de manera que no es posible separar y delimitar cartográficamente estas unidades, por lo tanto, esta cobertura se ha incorporado en la unidad 3.1.3.2, correspondiente a bosque fragmentado con vegetación secundaria.

### **3.1.5. Plantaciones forestales**

Son coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal. En este proceso se constituyen rodales forestales, establecidos mediante la plantación y/o la siembra durante el proceso de forestación o reforestación, para la producción de madera (plantaciones comerciales) o de bienes y servicios ambientales (plantaciones protectoras).

En el área de estudio esta unidad está muy escasamente representada o se encuentra en asociación con otras coberturas, por lo cual se ha incluido en las categorías 2.4. y 3.1.3.2 correspondientes a áreas agrícolas heterogéneas y bosque fragmentado con vegetación secundaria respectivamente.

## **3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva**

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo natural y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica.

Para la leyenda de CORINE Land Cover adaptada para Colombia, en esta clase se incluyen otros tipos de cobertura tales como las áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva con dosel irregular y presencia de arbustos, palmas, enredaderas y vegetación de bajo porte.

Dentro de esta unidad se encuentran las coberturas descritas a continuación.

### **3.2.1. Herbazal**

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, los cuales forman una cobertura densa (>70% de ocupación) o abierta (30% - 70% de ocupación). Una hierba es una planta no lignificada o apenas lignificada, de manera que tiene consistencia blanda en todos sus órganos, tanto subterráneos como epigeos (Font Queur, 1982). Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999).

En el área de estudio esta unidad de cobertura es ausente o escasamente representada. En el municipio de Vélez, las áreas ocupadas por vegetación herbáceas son el resultado de intervención antrópica, y no corresponden a la condición natural de la vegetación, por lo tanto se clasifican como pastos limpios, arbolados o enmalezados (2.3).



### 3.2.2. Arbustal

Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAO, 2001).

En el área de estudio esta unidad de cobertura es ausente o escasamente representada. En el municipio de Vélez, las áreas ocupadas por vegetación arbustiva son el resultado de intervención antrópica, y no corresponden a la condición natural de la vegetación, por lo tanto se clasifican como vegetación secundaria o en transición (3.2.3).

### 3.2.3. Vegetación secundaria o en transición (rastros)

Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de intervención o por destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original.

Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas y en zonas en donde por ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre. Se les conoce vulgarmente como rastros.

De acuerdo a la información disponible y las visitas de campo, en el área de estudio se encuentran dos clases principales:

3.2.3.1 Vegetación secundaria alta

3.2.3.2 Vegetación secundaria baja

#### 3.2.3.1. Vegetación secundaria alta

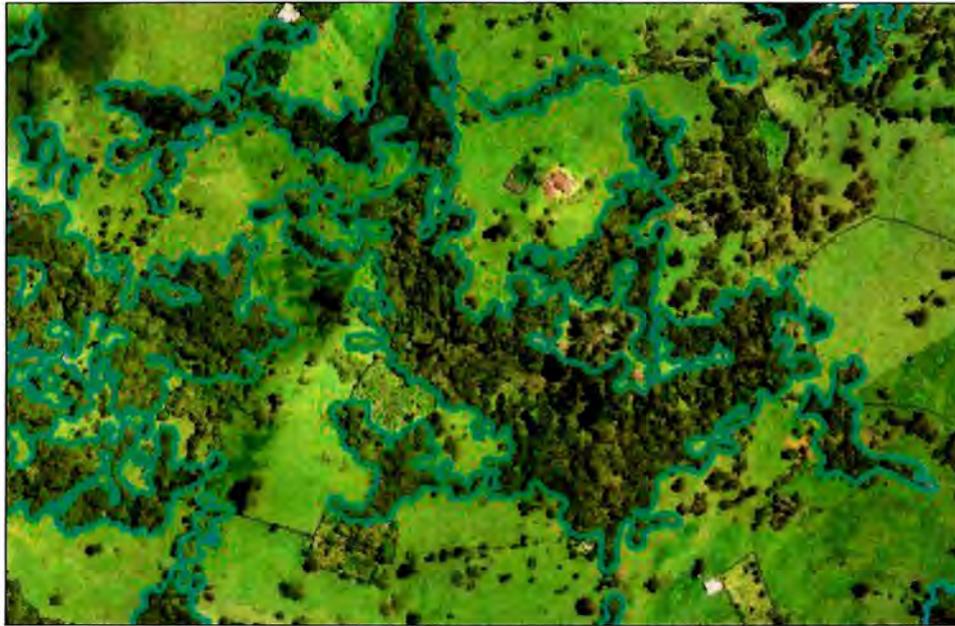
Son aquellas áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva adulta y arbóreo joven con dosel irregular y presencia ocasional de arbustos, palmas y enredaderas, que corresponde a los estadios intermedios de la sucesión vegetal, después de presentarse un proceso de deforestación de los bosques o de abandono y enmalezamiento o enrastrojado de los pastizales. Se desarrolla luego de varios años de la intervención original, generalmente después de la etapa secundaria baja. Según el tiempo transcurrido se podrán encontrar comunidades de árboles formadas por una sola especie o por varias de ellas (Figura 134).

Esta categoría puede incluir otras coberturas con un área inferior al área mínima cartografiable de acuerdo con la escala de trabajo y que representen menos del 30% del área total de la unidad, tales como:

- Pequeños fragmentos de bosque natural denso
- Coberturas de cultivos o pastos

Entre las especies arbóreas presentes en esta unidad de cobertura se destacan el manchador (*Vismia baccifera*), guarumo (*Cecropia*), balso (*Ochroma pyramidale*), balso blanco (*Heliocarpus popayanensis*), látigo (*Trema myrcantha*) y guamo (*Inga sp.*). Se registra además la presencia de guadua (*Bambusa guadua*), principalmente en correspondencia de áreas húmedas y cuerpos de agua, y platano (*Musa paradisiaca*).

**Figura 134.** Delimitación de la vegetación secundaria alta sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.3.2. Vegetación secundaria baja

Son aquellas áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva y herbácea con dosel irregular y presencia ocasional de árboles y enredaderas, que corresponde a los estadios iniciales de la sucesión vegetal después de presentarse un proceso de deforestación de los bosques o de abandono y enmalezamiento o enastrojado de pastizales. Se desarrolla posterior a la intervención original y, generalmente, están conformadas por comunidades de arbustos y herbáceas formadas por muchas especies (Figura 135).

La vegetación secundaria comúnmente corresponde a una vegetación de tipo arbustivo herbáceo de ciclo corto, con alturas que no superan los cinco metros, de cobertura densa.

Por lo general corresponde con una fase de colonización de inductores preclimáticos, donde especies de una fase más avanzada se establecen y comienzan a emerger.

En el área de estudio esta cobertura se encuentra en parches más o menos extensos, casi siempre en continuidad con la vegetación secundaria alta o dentro de esta cobertura.

Entre las especies encontradas en esta unidad de cobertura se destacan el helecho de marrano (*Pteridium aquilinum*), helecho pategallina (*Dicranopteris bifida*), rabo de zorro (*Andropogon bicornis*), salvia (*Eupatorium inulaefolium*), mortiños (*Miconia albicans* y *M. rufescens*), dormidera (*Mimosa pigra*), cordoncillo (*Piper sp*), guayabo cimarrón (*Psidium guianensis*), con presencia ocasional de platáno (*Musa paradisiaca*).

**Figura 135.** Delimitación de la vegetación secundaria baja sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia

### **3.3. ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN**

Comprende aquellos territorios en los cuales, en condiciones naturales la cobertura vegetal no existe o es escasa; compuestos principalmente por suelos desnudos, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos, algunos de los cuales pueden estar cubiertos por musgos y líquenes.

Para el presente estudio, se han excluido de esta categoría las zonas arenosas naturales, debido a que no se encuentran o su extensión es siempre inferior a la unidad mínima cartografiada definida de acuerdo con la escala de trabajo. Son áreas que corresponden a terrenos bajos y planos constituidos principalmente por suelos arenosos y pedregosos, por lo general desprovistos de vegetación o cubiertos por una vegetación de arbustal ralo y bajo.

A continuación se describen las unidades pertenecientes a esta categoría que ha sido posible delimitar en el área de estudio.

#### **3.3.3. Tierras desnudas y degradadas**

Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas. Se incluyen las áreas donde se presentan tierras salinizadas, en proceso de desertificación o con intensos procesos de erosión que pueden llegar hasta la formación de cárcavas.

En el área de estudio estas áreas corresponden prevalentemente a territorios afectados por descapotes recientes.

En esta categoría también se han incluido las áreas de pastos limpios afectadas por procesos de degradación de la tierra consecuencia del sobrepastoreo y tránsito del ganado, las cuales se les denomina comúnmente como “terracetas y patas de vaca” (Figura 136).

#### 3.3.4. Zonas quemadas

Comprende las zonas afectadas por incendios recientes, donde los materiales carbonizados todavía están presentes. Estas zonas hacen referencia a los territorios afectados por incendios localizados tanto en áreas naturales como seminaturales, tales como bosques, cultivos, pastizales y arbustales (Figura 137).

**Figura 136.** Delimitación de terracetas y patas de vaca sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 137.** Delimitación de zonas quemadas sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia

#### **4. ÁREAS HÚMEDAS**

De acuerdo a la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierras, las áreas húmedas comprenden aquellas coberturas constituidas por terrenos anegadizos, que pueden ser temporalmente inundados y estar parcialmente cubiertos por vegetación acuática, localizados en los bordes de los cuerpos de agua. Dentro de las áreas húmedas continentales, se incluyen las zonas pantanosas, turberas y vegetación acuática sobre cuerpos de agua.

Aunque el área de estudio no se registre la existencia de áreas húmedas de grande extensión que permita delimitarlas cartográficamente, cabe resaltar la presencia de áreas de mal drenaje que corresponden a suelos saturados de agua y pantanosos, las cuales pudieron identificarse en las visitas de campo realizadas, y que se encuentran principalmente asociadas a los territorios agrícolas pertenecientes a la unidad 2.3 (pastos), destinados a potreros.

#### **5. SUPERFICIES DE AGUA**

Son los cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior del continente y los que bordean o se encuentran adyacentes a la línea de costa continental, como los mares. Se incluyen en esta clasificación los fondos asociados con los mares, cuya profundidad no supere los 12 metros.



### 5.1. AGUAS CONTINENTALES

Son cuerpos de aguas permanentes, intermitentes y estacionales que comprenden lagos, lagunas, ciénagas, depósitos y estanques naturales o artificiales de agua dulce (no salina), embalses y cuerpos de agua en movimiento, como los ríos y canales.

Se han excluido de esta categoría los ríos (5.1.1), las lagunas (5.1.2) y los canales (5.1.3), cuya delimitación no hace parte del alcance del presente estudio, debido a que, en la mayoría de los casos, su correcta identificación y delimitación está afectada por la presencia de vegetación que se extiende sobre el cauce, escondiéndolo parcialmente o por completo.

#### 5.1.4. Cuerpos de agua artificiales

Esta cobertura comprende los cuerpos de agua de carácter artificial que fueron creados por el hombre para almacenar agua usualmente con el propósito de abrevaderos, abastecimiento de agua, riego o con fines turísticos y recreativos. También lo pueden ser para acueducto o generación de electricidad.

En el área de estudio esta unidad corresponde a los cuerpos de agua de origen artificial que se encuentran prevalentemente en asociación con área agrícolas y ganaderas (unidad 3.2 – Pastos) cuya función es de abastecimiento de agua para riego o abrevadero y actividades afines (Figura 138).

**Figura 138.** Delimitación de cuerpos de agua sobre imagen UAV.



Fuente: Elaboración Propia



## 6.7.2. Resultados

### 6.7.2.1. Casco urbano de Vélez

El área de estudio correspondiente al casco urbano de Vélez se encuentra entre 1900 y 2300 msnm aproximadamente, con precipitaciones medias anuales alrededor de los 1900 mm y temperaturas promedio comprendidas entre los 16°C y los 18°C, que disminuyen en correspondencia de los sectores de mayor elevación, ubicados en la parte noroccidental de la ciudad. Se le ubica en la parte baja del bosque húmedo Montano Bajo según Holdridge y en el Orobioma de Selva subandino según la clasificación de Hernández.

La zona de vida de bosque subandino, que corresponde a zonas de clima medio húmedo y/o seco o muy húmedo, se extiende en las laderas del costado oriental de la serranía de Vélez – Chipatá - La Paz, incluyendo la totalidad del casco urbano, las zonas comprendidas entre las vías a Chipatá y Barbosa y la porción oriental de las veredas Peña Tambor y El Amarillo.

Sin embargo, en correspondencia de estas áreas, la vegetación forestal original de esta zona de vida ha sido intervenida para dejar espacio a la expansión del casco urbano y al desarrollo de la producción agropecuaria, por lo que actualmente, en su lugar, se registra la presencia de zonas agrícolas heterogéneas, intercaladas a pastos limpios y enmalezados destinados a uso de potreros, con presencia esporádica de bosques fragmentados con vegetación secundaria (rastros altos y bajos).

En el área de estudio, los territorios ubicados en esta zona de vida, están dominados por la presencia de potreros (pastos limpios), con presencia de manchas dispersas de rastros y de bosque secundario fragmentado.

De acuerdo al análisis realizado, para el casco urbano de Vélez y sus alrededores, los territorios de uso agrícola son los que presentan la mayor extensión, ocupando el 69.28% del área de estudio, mientras que las zonas de bosques y áreas seminaturales corresponden al 23.93%.

Los bosques y las áreas seminaturales existentes se componen principalmente de bosques fragmentados con vegetación secundaria, ubicados en correspondencia de las quebradas que atraviesan el área de estudio, entre las cuales se destacan las quebradas Las Flores, Palenque, Los Ejidos, Puente Blanco y La Peña.

Se registra además la presencia de parches e hileras de vegetación secundaria alta y baja que atraviesan e interrumpen las áreas de pastos y cultivos existentes, extendiéndose en continuidad con las áreas de bosque fragmentado a lo largo de los cuerpos de agua, o de forma aislada, representando estadios intermedios de la sucesión vegetal después de un proceso de deforestación o el resultados de prácticas de reforestación y plantación de vegetación para cercas vivas.

Dentro de los territorios agrícolas alrededor del casco urbano de Vélez se destaca la predominancia de cultivos de maíz y plátano (a veces en asociación con café) sobre los demás cultivos, aunque las áreas agrícolas heterogéneas son las que tiene mayor importancia en términos de extensión, representando el 19% del área de estudio.

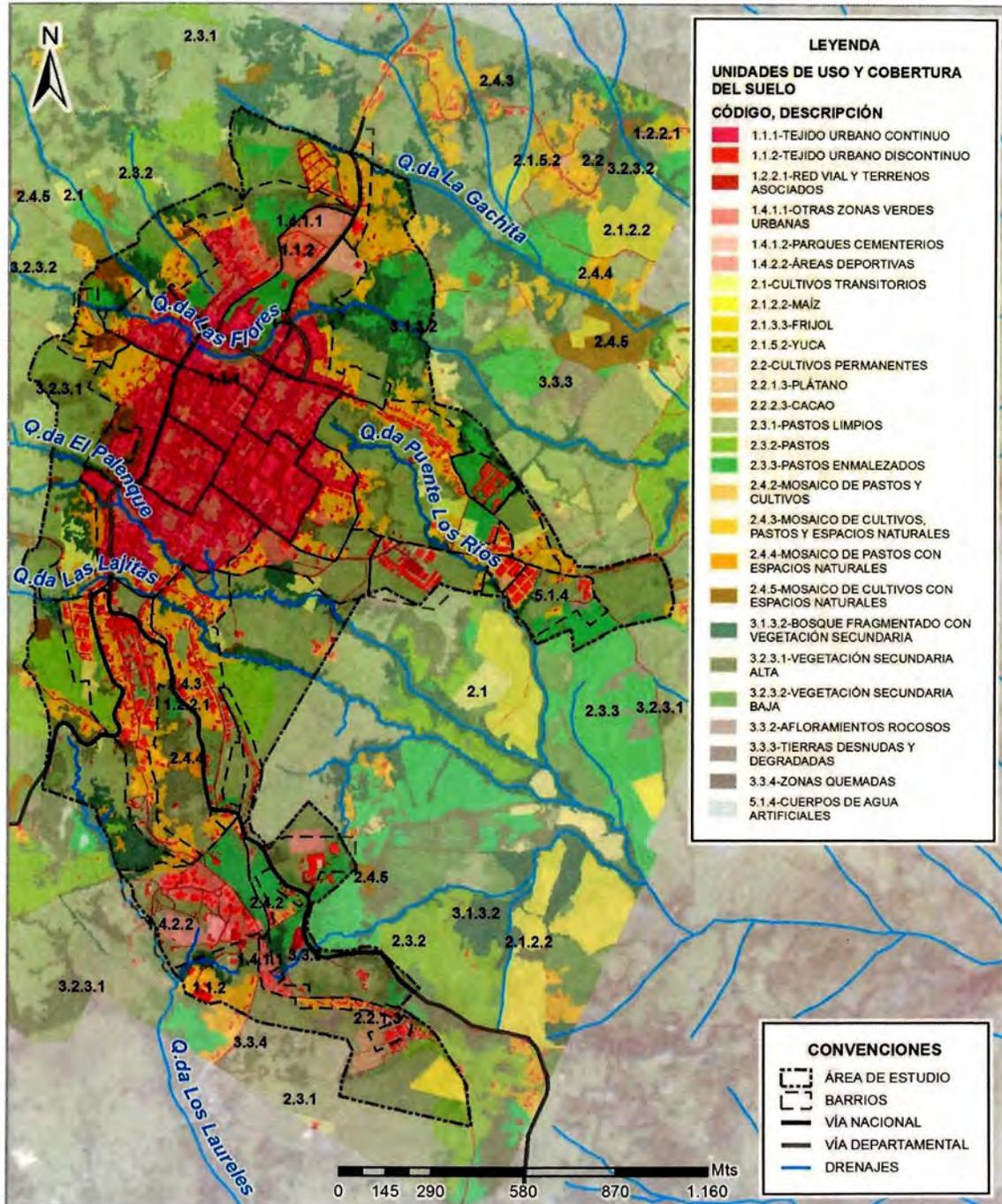
En la tabla a continuación se reporta el área registrada por cada unidad de uso y cobertura del suelo encontrada en el área de estudio.

Tabla 11. Área por unidad de uso y cobertura del suelo. Casco urbano de Vélez.

UNIDAD DE USO Y COBERTURA		[m <sup>2</sup> ]	[Has]	[%]
<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>		<b>1,046,607.84</b>	<b>104.66</b>	<b>6.77</b>
1.1	<b>ZONAS URBANIZADAS</b>	<b>576,670.83</b>	<b>57.67</b>	<b>3.73</b>
1.1.1	TEJIDO URBANO CONTINUO	366,077.77	36.61	2.37
1.1.2	TEJIDO URBANO DISCONTINUO	210,593.06	21.06	1.36
1.2	<b>ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN</b>	<b>269,086.05</b>	<b>26.91</b>	<b>1.74</b>
1.2.2	RED VIAL Y TERRENOS ASOCIADOS	269,086.05	26.91	1.74
1.4	<b>ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS, NO AGRICOLAS</b>	<b>200,850.95</b>	<b>20.09</b>	<b>1.30</b>
1.4.1	ZONAS VERDES URBANAS	169,194.79	16.92	1.10
1.4.2	INSTALACIONES RECREATIVAS	31,656.17	3.17	0.20
<b>2. TERRITORIOS AGRICOLAS</b>		<b>10,702,085.52</b>	<b>1,070.21</b>	<b>69.28</b>
2.1	<b>CULTIVOS TRANSITORIOS</b>	<b>487,071.97</b>	<b>48.71</b>	<b>3.15</b>
2.1	CULTIVOS TRANSITORIOS	216,622.97	21.66	1.40
2.1.2	CEREALES	263,059.39	26.31	1.70
2.1.3	OLEAGINOSAS Y LEGUMINOSAS	5,872.17	0.59	0.04
2.1.5	TUBÉRCULOS	1,517.45	0.15	0.01
2.2	<b>CULTIVOS PERMANENTES</b>	<b>16,511.98</b>	<b>1.65</b>	<b>0.11</b>
2.2	CULTIVOS PERMANENTES	382.15	0.04	0.00
2.2.1	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	15,747.69	1.57	0.10
2.3	<b>PASTOS</b>	<b>9,292,056.42</b>	<b>929.21</b>	<b>60.15</b>
2.3.1	PASTOS LIMPIOS	7,309,034.49	730.90	47.31
2.3.2	PASTOS ARBOLADOS	1,152,392.12	115.24	7.46
2.3.3	PASTOS ENMALEZADOS	830,629.81	83.06	5.38
2.4	<b>ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS</b>	<b>906,445.14</b>	<b>90.64</b>	<b>5.87</b>
2.4.2	MOSAICO DE PASTOS Y CULTIVOS	10,804.91	1.08	0.07
2.4.3	MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES	705,200.53	70.52	4.56
2.4.4	MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES	31,429.97	3.14	0.20
2.4.5	MOSAICO DE CULTIVOS CON ESPACIOS NATURALES	159,009.73	15.90	1.03
<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>		<b>3,697,433.28</b>	<b>369.74</b>	<b>23.93</b>
3.1	<b>BOSQUES</b>	<b>1,360,106.16</b>	<b>136.01</b>	<b>8.80</b>
3.1.3	BOSQUE FRAGMENTADO	1,360,106.16	136.01	8.80
3.2	<b>ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA</b>	<b>2,209,808.77</b>	<b>220.98</b>	<b>14.30</b>
3.2.3	VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN	2,209,808.77	220.98	14.30
3.3	<b>ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN</b>	<b>127,518.36</b>	<b>12.75</b>	<b>0.83</b>
3.3.3	TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS	127,108.37	12.71	0.82
3.3.4	ZONAS QUEMADAS	409.98	0.04	0.00
<b>5. SUPERFICIES DE AGUA</b>		<b>2,350.93</b>	<b>0.24</b>	<b>0.02</b>
5.1	<b>AGUAS CONTINENTALES</b>	<b>2,350.93</b>	<b>0.24</b>	<b>0.02</b>
5.1.4	CUERPOS DE AGUA ARTIFICIALES	2,350.93	0.24	0.02
<b>TOTAL</b>		<b>15,448,477.57</b>	<b>1,544.85</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración Propia

Figura 139. Mapa de Uso y Cobertura del suelo, casco urbano de Vélez (Plano U-10).



Fuente: Elaboración Propia



### 6.7.2.2. Gualilo

El área de estudio correspondiente al centro poblado de Gualilo y sus alrededores, se ubica entre los 1200 a 1400 msnm, con una temperatura promedio de 22-20°C y precipitaciones de 2750 mm/año, en la zona de vida bosque muy húmedo Premontano según Holdridge, en el orobioma de selva o bosque subandino según Hernández.

En condiciones naturales, el bosque subandino se caracteriza por una gran diversidad de especies vegetales, con presencia abundante de epifitas, trepadoras, orquídeas, musgos, helechos, hepáticas y líquenes. Su arbolado posee un estrato emergente discontinuo y disperso, con copas variables y uno o dos estratos más subordinados.

Normalmente presenta yarumos a la orillas de los ríos, también se destacan cedros, nogales y robles. El techo o dosel boscoso alcanza desde 20 hasta 35-40 metros.

Abundan las palmeras de porte muy variado. En Colombia este bioma corresponde a la vegetación natural de la mayor parte de las regiones de clima templado y cafetero como son la Serranía del Baudó, la Serranía del Darién, el macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta, la Serranía de la Macarena y probablemente algunos de los cerros más altos de la Amazonia.

De acuerdo al estudio realizado, la cobertura más representativa para el centro poblado de Gualilo corresponde a los territorios agrícolas, cuya extensión corresponde al 82.89% del área de estudio, con prevalencia de pastos enmalezados (79.97%) y presencia esporádica de áreas agrícolas heterogéneas (2.24%). Los bosque y las áreas seminaturales representan un 26.69% del área analizada, con predominio de la vegetación secundaria en transición (rastros altos y bajos) y presencia de pequeñas porciones de tierras degradadas (0.56%).

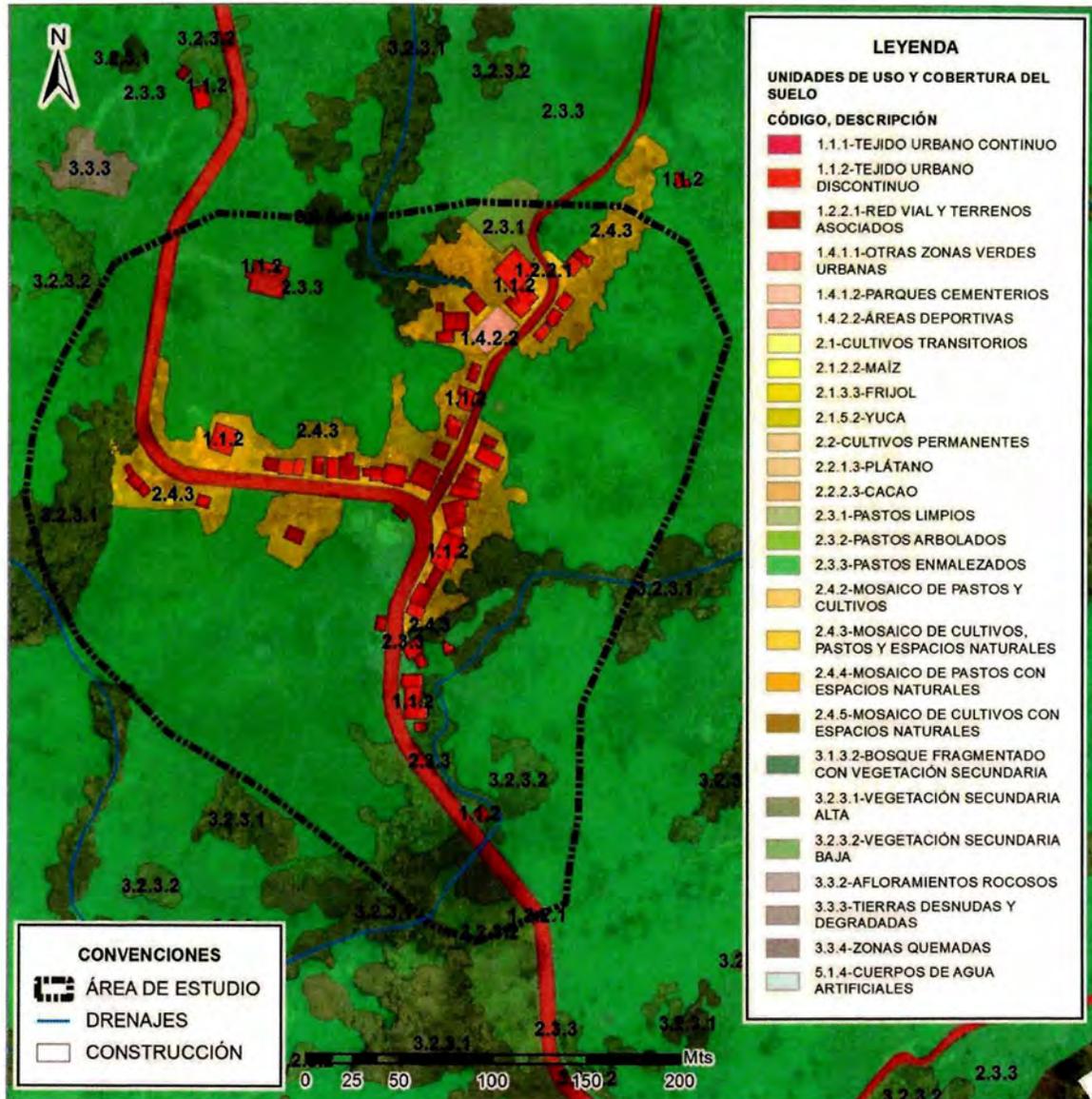
En la tabla a continuación se reporta el área registrada por cada unidad de uso y cobertura del suelo encontrada en el área de estudio.


**Tabla 12. Área por unidad de uso y cobertura del suelo, Gualilo.**

UNIDAD DE USO Y COBERTURA		[m <sup>2</sup> ]	[Has]	[%]
<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>		<b>27.494,18</b>	<b>2,75</b>	<b>2,45</b>
1.1	<b>ZONAS URBANIZADAS</b>	<b>5.979,75</b>	<b>0,60</b>	<b>0,53</b>
1.1.2	TEJIDO URBANO DISCONTINUO	5.979,75	0,60	0,53
1.2	<b>ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN</b>	<b>21.175,61</b>	<b>2,12</b>	<b>1,89</b>
1.2.2	RED VIAL Y TERRENOS ASOCIADOS	21.175,61	2,12	1,89
1.4	<b>ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS, NO AGRICOLAS</b>	<b>338,82</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>
1.4.2	INSTALACIONES RECREATIVAS	338,82	0,03	0,03
<b>2. TERRITORIOS AGRICOLAS</b>		<b>828.947,97</b>	<b>82,89</b>	<b>73,79</b>
2.3	<b>PASTOS</b>	<b>806.572,25</b>	<b>80,66</b>	<b>71,80</b>
2.3.1	PASTOS LIMPIOS	1.328,15	0,13	0,12
2.3.2	PASTOS ARBOLADOS	5.545,13	0,55	0,49
2.3.3	PASTOS ENMALEZADOS	799.698,97	79,97	71,19
2.4	<b>ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS</b>	<b>22.375,73</b>	<b>2,24</b>	<b>1,99</b>
2.4.3	MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES	18.576,78	1,86	1,65
2.4.5	MOSAICO DE CULTIVOS CON ESPACIOS NATURALES	3.798,95	0,38	0,34
<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>		<b>286.918,54</b>	<b>28,69</b>	<b>23,76</b>
3.2	<b>ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA</b>	<b>261.330,87</b>	<b>26,13</b>	<b>23,26</b>
3.2.3	VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN	261.330,87	26,13	23,26
3.3	<b>ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN</b>	<b>5.587,68</b>	<b>0,56</b>	<b>0,50</b>
3.3.3	TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS	5.587,68	0,56	0,50
<b>TOTAL</b>		<b>1.123.360,70</b>	<b>112,34</b>	<b>100,00</b>

Fuente: Elaboración Propia

Figura 140. Mapa de uso y cobertura del suelo del centro poblado Gualilo.



Fuente: Elaboración Propia



### 6.7.2.3. Palo Blanco

El área correspondiente al centro poblado de Palo Blanco y sus alrededores, se ubica entre los 2400 y los 2600 msnm, con una temperatura promedio de 13°C y precipitaciones de 2000-2250 mm/año. Se ubica en la zona de vida bosque muy húmedo Montano Bajo según Holdridge, en el orobioma de selva o bosque Andino según Hernández.

En condiciones naturales, el bosque subandino se caracteriza por ser pluriestratificado (4 estratos), con abundancia de epífita y donde las especies dominantes son el roble, el aliso, chaquiros, siete cueros y la palma de cera.

En el territorio colombiano, los bosques andinos han sido objeto de una fuerte intervención antrópica, por lo que actualmente solo ocupan pequeña porción del país, y la mayoría de ellos quedan como áreas relictuales. Están ubicados en zonas donde el aire ascendente y saturado de vapor de agua que proviene de regiones bajas, húmedas y cálidas, se estanca y condensa para producir regularmente nubosidad o niebla envolvente, dando lugar a la faja altitudinal que se conoce como bosque nublado. El factor característico de estos bosques es la alta humedad atmosférica. En el caso presente las masas de aire procedentes del Magdalena Media al ascender, en horas de la mañana por las vertientes orientales de la serranía Vélez – Chipatá – La Paz, origina esta franja nublada que cubre incluso el centro poblado de Palo Blanco y que se caracteriza por la presencia de una forma lenta de precipitación no registrada por los pluviómetros, pero de gran importancia hidrológica, que determina la persistencia de un ambiente húmedo.

De acuerdo al estudio realizado, la cobertura más representativa para el centro poblado de Palo Blanco son los territorios agrícolas, cuya extensión corresponde al 62.27% del área de estudio, con prevalencia de potreros (pastos limpios) y presencia esporádica de áreas agrícolas heterogéneas (1.05%). Los bosque y las áreas seminaturales representan un 49.75% del área analizada, con predominancia de bosques fragmentados (34.51%), los cuales se concentran en correspondencia de la porción occidental del área de estudio, sobre la vía hacia Bolívar, y más al norte, en proximidad de la quebrada La Laja. Las áreas con vegetación herbácea y arbustiva representan el 14.94% del total y se encuentran distribuidas prevalentemente en parches asociados a las áreas de bosque fragmentado, y en correspondencia de los márgenes de los potreros.

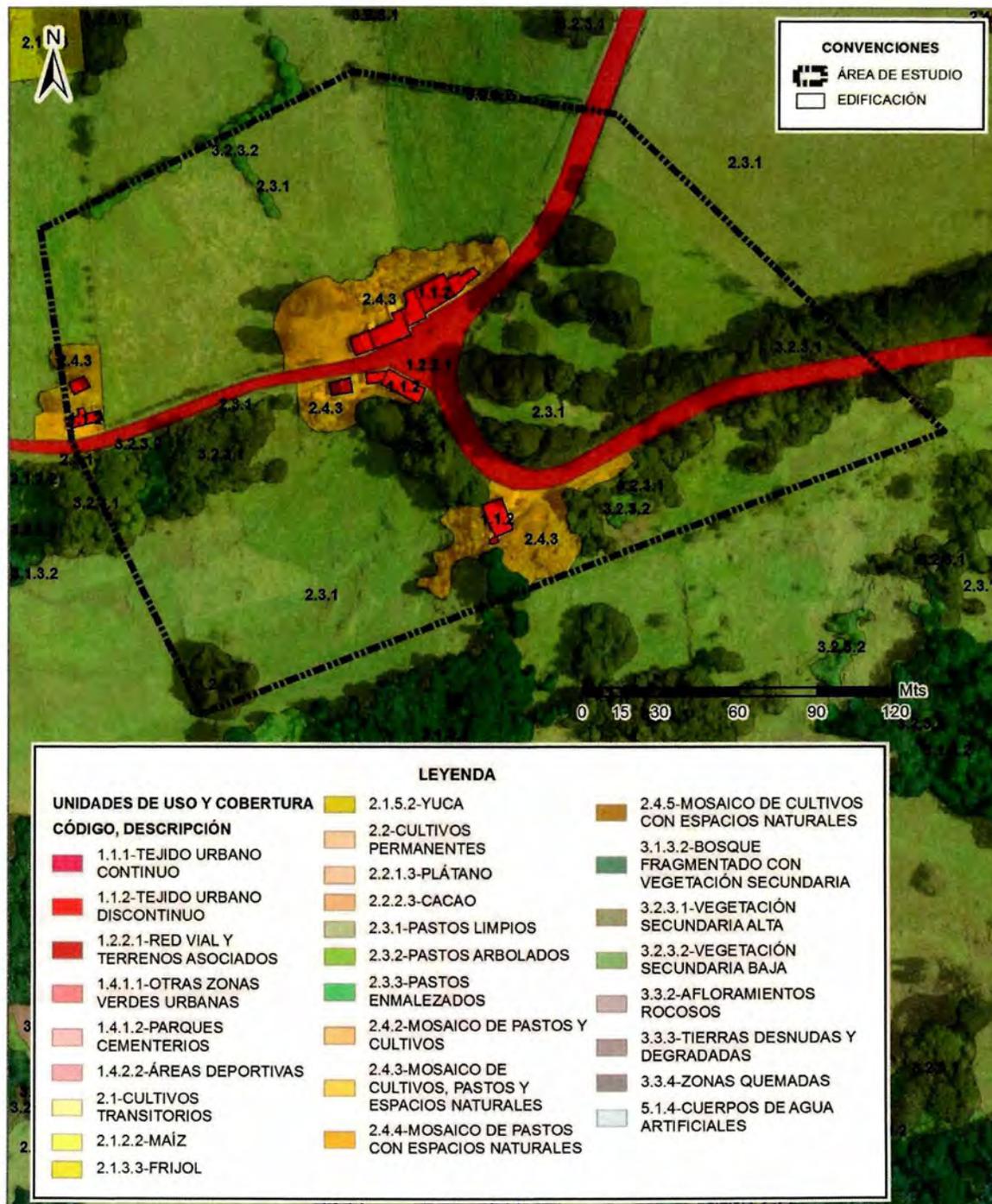
En la tabla a continuación se reporta el área registrada por cada unidad de uso y cobertura del suelo encontrada en el área de estudio.

Tabla 13. Área por unidad de uso y cobertura del suelo, Palo Blanco.

UNIDAD DE USO Y COBERTURA		[m <sup>2</sup> ]	[Has]	[%]
<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>		<b>18.637,55</b>	<b>1,86</b>	<b>1,36</b>
1.1	ZONAS URBANIZADAS	2.464,36	0,25	0,18
1.1.2	TEJIDO URBANO DISCONTINUO	2.464,36	0,25	0,18
1.2	ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACION	16.173,20	1,62	1,18
1.2.2	RED VIAL Y TERRENOS ASOCIADOS	16.173,20	1,62	1,18
<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>		<b>851.734,80</b>	<b>85,17</b>	<b>62,27</b>
2.1	CULTIVOS TRANSITORIOS	2.283,24	0,23	0,17
2.1.3	OLEAGINOSAS Y LEGUMINOSAS	2.283,24	0,23	0,17
2.3	PASTOS	838.975,58	83,90	61,33
2.3.1	PASTOS LIMPIOS	817.371,53	81,74	59,75
2.3.3	PASTOS ENMALEZADOS	21.604,06	2,16	1,58
2.4	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	10.475,98	1,05	0,77
2.4.3	MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES	10.475,98	1,05	0,77
<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>		<b>497.511,13</b>	<b>49,75</b>	<b>36,37</b>
3.1	BOSQUES	345.147,00	34,51	25,23
3.1.3	BOSQUE FRAGMENTADO	345.147,00	34,51	25,23
3.2	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA	149.390,37	14,94	10,92
3.2.3	VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN	149.390,37	14,94	10,92
3.3	ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON Poca VEGETACIÓN	2.973,76	0,30	0,22
3.3.3	TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS	2.973,76	0,30	0,22
<b>TOTAL</b>		<b>1.367.883,49</b>	<b>136,79</b>	<b>100,00</b>

Fuente: Elaboración Propia

Figura 141. Mapa de uso y cobertura del suelo del centro poblado Palo Blanco.



Fuente: Elaboración Propia



#### 6.7.2.4. Los Guayabos

El área correspondiente al centro poblado de Los Guayabos y sus alrededores, se ubica entre los 1900 y los 1950 msnm, con una temperatura promedio de 16°C y precipitaciones hasta 2000 mm/año. Se ubica en la zona de vida bosque húmedo Montano Bajo según Holdridge, en el orobioma de selva o bosque Andino según Hernández.

En condiciones naturales, a este orobioma corresponden los bosques perennifolios con predominio o codominancia de *Weinmannia* (encenillos), *Hesperomeles* (cerotes o mortiños), *Vaccinium* (mortiños) *Drymis granatensis* (canelos o palos de ají), *Brunnellia* (cedrillos), *Diplostegium* (romeros), *Vallea* (raque), *Myrcianthes* (arrayán), *Ilex* (palo blanco) y *Oreopanax* (manos de oso).

El dosel del bosque andino puede alcanzar unos 14-20 m, con presencia de estratos arbustivos y herbáceos más o menos densos, y de hierbas, musgos y helechos que recubren el piso. Las especies epifitas son abundantes en especial musgos, hepáticas, líquenes y helechos. Se registra la presencia de palmeras y los helechos arborescentes son muy frecuentes.

Sin embargo, en el área de estudio la vegetación forestal original de esta zona de vida ha sido intervenida para dejar espacio al desarrollo de la producción agropecuaria, por lo que actualmente, en su lugar, se registra la presencia de zonas agrícolas heterogéneas, intercaladas a pastos limpios y enmalezados destinados a uso de potreros, con presencia esporádica vegetación secundaria (rastros altos y bajos).

De acuerdo al estudio realizado, la cobertura más representativa para el centro poblado de Los Guayabos son los territorios agrícolas, cuya extensión corresponde al 54.34% del área de estudio, con prevalencia de potreros (pastos limpios, 42.59%) y presencia esporádica de áreas agrícolas heterogéneas (11.03%). Los bosque y las áreas seminaturales representan el 21.28% del área analizada, con predominancia de vegetación secundaria o en transición (rastros, 15.18%).

En la tabla a continuación se reporta el área registrada por cada unidad de uso y cobertura del suelo encontrada en el área de estudio.

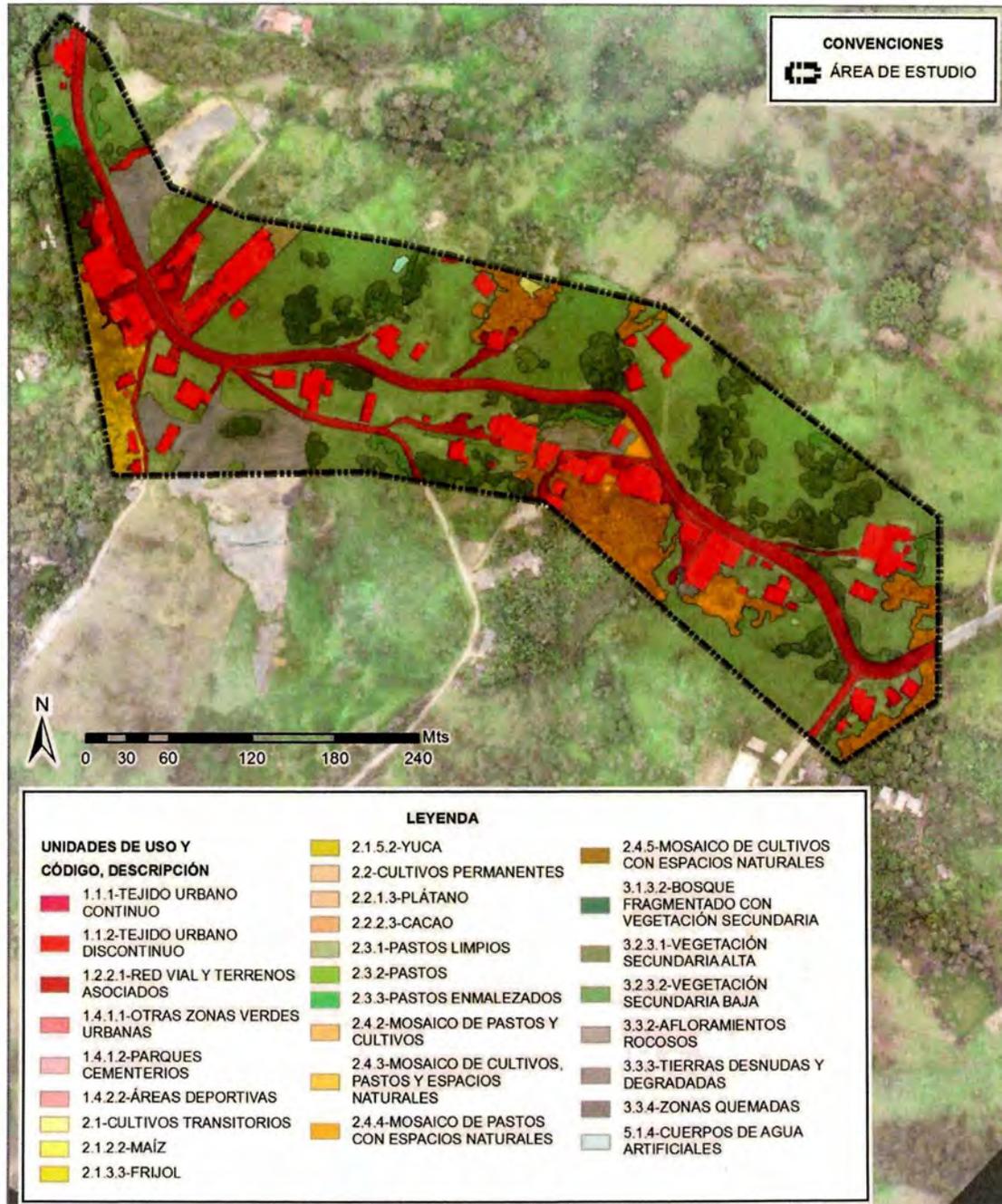


Tabla 14. Área por unidad de uso y cobertura del suelo, Los Guayabos.

UNIDAD DE USO Y COBERTURA		[m <sup>2</sup> ]	[Has]	[%]
<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>		<b>30.253,87</b>	<b>3,03</b>	<b>24,31</b>
1.1	ZONAS URBANIZADAS	14.279,45	1,43	11,47
1.1.2	TEJIDO URBANO DISCONTINUO	14.279,45	1,43	11,47
<b>1.2 ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACION</b>		<b>15.974,43</b>	<b>1,60</b>	<b>12,83</b>
1.2.2	RED VIAL Y TERRENOS ASOCIADOS	15.974,43	1,60	12,83
<b>2. TERRITORIOS AGRICOLAS</b>		<b>67.643,98</b>	<b>6,76</b>	<b>54,34</b>
2.1	CULTIVOS TRANSITORIOS	130,12	0,01	0,10
2.2	CULTIVOS PERMANENTES	358,18	0,04	0,29
2.3	PASTOS	53.426,57	5,34	42,92
2.3.1	PASTOS LIMPIOS	53.017,90	5,30	42,59
2.3.3	PASTOS ENMALEZADOS	408,67	0,04	0,33
2.4	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	13.729,11	1,37	11,03
2.4.3	MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES	3.193,88	0,32	2,57
2.4.4	MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES	10.535,23	1,05	8,46
<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>		<b>26.484,19</b>	<b>2,65</b>	<b>21,28</b>
3.2	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA	18.893,42	1,89	15,18
3.2.3	VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN	18.893,42	1,89	15,18
3.3	ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON Poca VEGETACIÓN	7.590,78	0,76	6,10
3.3.3	TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS	7.590,78	0,76	6,10
<b>5. SUPERFICIES DE AGUA</b>		<b>92,23</b>	<b>0,01</b>	<b>0,07</b>
5.1	AGUAS CONTINENTALES	92,23	0,01	0,07
5.1.4	CUERPOS DE AGUA ARTIFICIALES	92,23	0,01	0,07
<b>TOTAL</b>		<b>124.474,27</b>	<b>12,45</b>	<b>100,00</b>

Fuente: Elaboración Propia

Figura 142. Mapa de uso y cobertura del suelo del centro poblado Los Guayabos.



Fuente: Elaboración Propia



### 6.8. CALIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

El uso y la cobertura de la tierra son el resultado de la interacción de la dinámica natural geológica, geomorfológica, los suelos, el clima, de las comunidades bióticas, y de la acción antrópica (Servicio Geológico Colombiano, 2013), y por lo tanto representan elementos fundamentales para describir el medio ambiente y su relación con los procesos naturales y las actividades antrópicas (Muhammad et al., 2014).

Las actividades humanas (antrópicas) generan o contribuyen a la aparición de diferentes procesos como la afectación en la evolución de las especies, deterioro de ecosistemas, cambios en el patrón de ciclos hidrológicos, cambios en la forma del relieve, etc., muchas veces en forma negativa, induciendo procesos desde la erosión superficial de los suelos hasta severos de remoción en masa.

Además de la intervención antrópica, los fenómenos de remoción en masa se generan como consecuencia de la interacción de factores naturales endógenos y exógenos.

Los factores endógenos son las propiedades intrínsecas de un relieve en particular, como son sus aspectos topográficos, geológicos, pedológicos, hidrológicos y cobertura vegetal, mientras que los factores exógenos son los factores detonantes que directamente o indirectamente determinan la ocurrencia de movimientos en masa, como los sismos, las precipitaciones y la actividad volcánica.

En este sentido, las características de la vegetación son un factor intrínseco que puede influenciar la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, especialmente cuando estos son inducidos por las lluvias.

Muchos estudios reportan que existe una relación entre el uso y cobertura de la tierra y la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, demostrando que esta es hasta 3.5 veces mayor en áreas cultivadas que en áreas que no lo son (Kim et al., 2013).

Con el fin de asignar una calificación de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa a las unidades de uso y cobertura identificadas y delimitadas, se adoptó la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (2013), la cual se basa en la influencia que ejercen las coberturas vegetales en el balance hídrico de una cuenca, considerando las interacciones existentes entre el agua, la vegetación, suelo y roca.

Desde el punto de vista hidrológico, la vegetación intercepta las precipitaciones con su dosel y ramas, y reduce el aporte de agua al suelo mediante la transpiración. Al mismo tiempo, a nivel del suelo, la vegetación favorece la infiltración gracias a la creación de poros en el terreno que aumentan su contenido en agua. Desde el punto de vista mecánico, la vegetación aumenta la estabilidad del suelo mediante el sistema radicular, mientras que su peso aumenta la tensión de corte, afectando negativamente a la estabilidad de las laderas (Kim et al., 2013).



La metodología propuesta tiene su fundamento teórico en el modelo propuesto por Lee (1980), sugerido por Sicard y Suárez (1998) que identifica como factores principales que determinan los efectos de la vegetación sobre el suelo y agua, la precipitación, la interceptación, la escorrentía, el drenaje profundo y la evapotranspiración:

$$P_t = I + E + D + ET \pm S$$

Donde:

$P_t$ = Precipitación total

$I$ = Interceptación

$E$ = Escorrentía

$D$ = Drenaje en profundidad o infiltración.

$ET$ =Evapotranspiración

$S$ = cantidad de agua almacenada en el suelo

$I = P_t - (P_e - F_c)$

$P_e$ = precipitación efectiva

$F_c$ = Flujo caulinar

De acuerdo a lo anterior, para la calificación de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa del suelo en función las unidades de uso y cobertura que lo ocupan, se han considerado las siguientes variables:

- 1) **EVAPOTRANSPIRACIÓN:** referida a la evapotranspiración de referencia ( $E_t$ ) y estándar ( $E_{t_c}$ ).
- 2) **DRENAJE PROFUNDO:** drenaje profundo en presencia de diferentes tipos de cobertura.
- 3) **PROFUNDIDAD RADICULAR:** se refiere a la máxima profundidad alcanzada por el sistema radicular de la vegetación.
- 4) **ESTRATOS:** se refiere al número de estratos de la cobertura.

Para cada unidad de uso y cobertura identificada, se le asignó un valor de 1 (mínima susceptibilidad) a 5 (máxima susceptibilidad) para las cuatro variables descritas y se obtuvo el promedio de las calificaciones obtenidas, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Susceptibilidad unidad de uso y cobertura} = \frac{(ETP + PR + DP + E)}{4}$$

Donde:

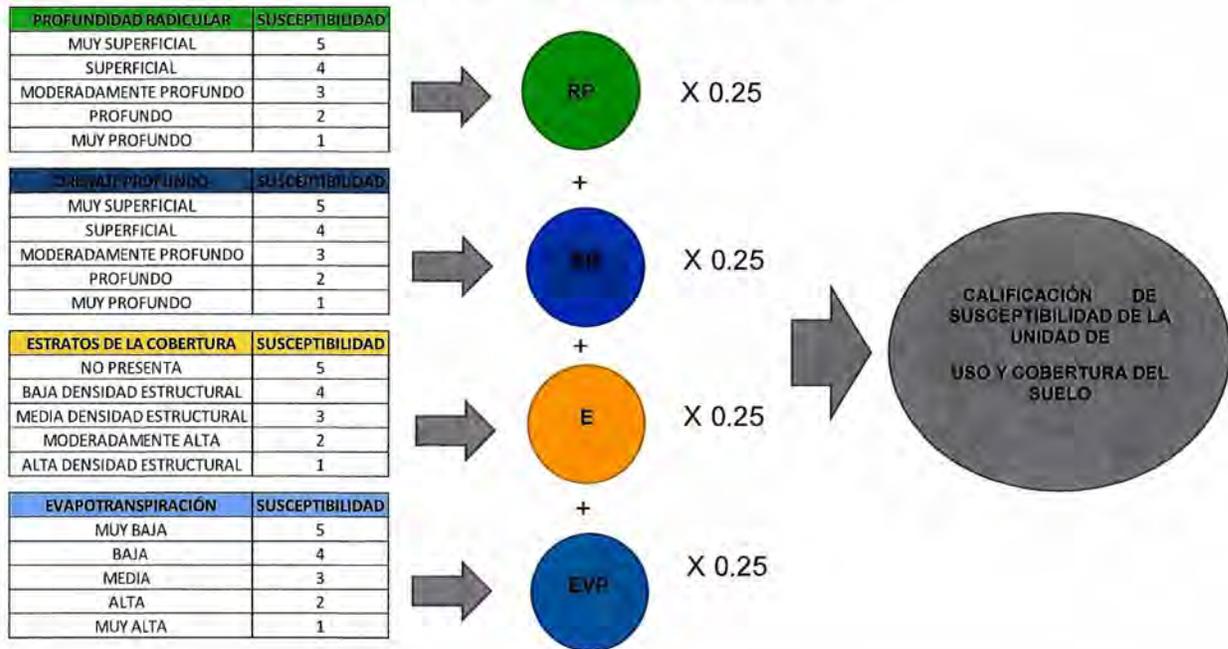
$ETP$ = Evapotranspiración

$PR$ = Profundidad radicular

$DP$ = Drenaje profundo

$E$ = Estratos de la cobertura

Figura 143. Esquema metodología empleada.



Fuente: Elaboración Propia

A continuación se describen en el detalle las cuatro variables utilizadas y los criterios adoptados para la calificación de la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa.

### 6.8.1. Evapotranspiración

De acuerdo con la definición adoptada por la FAO (2006), se conoce como evapotranspiración la combinación de dos procesos separados, por los que el agua se pierde desde la superficie del suelo y superficies expuestas de la vegetación por evaporación y por otra parte mediante transpiración de la vegetación.

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de separar estos dos procesos. En las primeras etapas de un cultivo y en los pastos, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero cuando se trata de vegetación que alcanza a cubrir totalmente la superficie del suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal de pérdida de agua hacia la atmósfera.

La **evaporación** es el fenómeno físico en el que el agua pasa del estado líquido al estado de vapor (vaporización) y se retira de la superficie evaporante hacia la atmósfera (remoción de agua en forma de vapor).



El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como:

- Superficies expuestas de la vegetación (troncos, ramas, tallos, hojas) inmediatamente después de la precipitación.
- Cuerpos de agua (ríos, lagos, embalses).
- Desde el suelo, por el agua que se evapora desde su parte más superficial.

La radiación solar directa y en menor grado la temperatura ambiente del aire, proporcionan la energía necesaria para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor.

La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor del agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante.

A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve más lento hasta detenerse por completo, si el aire húmedo circundante no se retira de los alrededores de la superficie evaporante.

El remplazo del aire saturado por un aire más seco depende en gran medida de la velocidad del viento.

De acuerdo a lo anterior, la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento, son parámetros climatológicos que influyen en el proceso de evaporación.

Por otra parte, cuando la superficie evaporante es el suelo, el grado de cobertura vegetal y la disponibilidad de agua son factores que también afectan el proceso de evaporación.

Por su parte la **transpiración** es el fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua por vaporización, enviándola hacia la atmósfera, a través de los tejidos epidérmicos (estomas principalmente). La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática.

Casi toda el agua absorbida del suelo por la vegetación a través de sus raíces, se pierde por transpiración y solo una pequeña fracción es incorporada a los tejidos vegetales.

La transpiración, al igual que la evaporación directa, ambas dependen del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también son factores que influyen sobre el proceso de transpiración.

La tasa o velocidad de transpiración, también depende de las características fisiológicas de la vegetación, su estado de desarrollo, la capacidad del suelo de conducir el agua hasta las raíces, la disponibilidad de agua y la salinidad del suelo.



De acuerdo a la metodología adoptada, cuando se analiza la evapotranspiración para condiciones antecedentes a un posible fenómeno, se puede presumir que a mayor evapotranspiración corresponde una mayor descarga de agua hacia la atmósfera, lo cual disminuye posibilidades de la saturación de los suelos, que es lo que favorece los movimiento en masa o de reptación por aumento de peso de los mismos y cambios desfavorables en las propiedades geomecánicas de los suelos altamente humectados y por lo tanto, disminuye la posibilidad de ocurrencia de los movimientos en masa.

Con el fin de adoptar un criterio objetivo para la calificación de las coberturas de la variable evapotranspiración, se ha tomado como referencia el **coeficiente de cultivo  $K_c$** , aplicando los valores de referencia por cobertura de la FAO (tabla 15).

De acuerdo al enfoque del coeficiente del cultivo  $K_c$ , la evapotranspiración del cultivo  $ET_c$  se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia,  $ET_0$  y el coeficiente del cultivo  $K_c$ :

$$ET_c = K_c ET_0$$

Donde:

$ET_c$  Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar [ $\text{mm d}^{-1}$ ]

$K_c$  Coeficiente del cultivo [adimensional]

$ET_0$  Evapotranspiración del cultivo de referencia [ $\text{mm d}^{-1}$ ]

La evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_0$ ), corresponde a la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia que ocurre sin restricciones de agua. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pastos con características específicas.

Por otra parte, la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar ( $ET_c$ ), y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes.

La mayoría de los efectos meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de  $ET_0$ , por lo tanto, mientras  $ET_0$  representa un indicador de la demanda climática, el valor de  $K_c$  varía principalmente en función de las características particulares del cultivo.

En la tabla 15 se reportan los valores del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) para diferentes tipos de cobertura reportados por la FAO, los cuales se toman de referencia para el presente estudio.



Tabla 15. Coeficientes de cultivos adaptados de la FAO.

Vegetación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Árboles Frutales	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque caducifolio	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque mixto	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Caña de azúcar	0,6	0,8	0,9	0,9	1	1	1	1	1,05	1,15	1,15	0,85
Café	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Piña	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Granos básicos	1	1	1	1	0,35	1	1,05	1,05	0,6	1	1	1
Hortalizas	1	1	1	1	0,7	1	1,05	1,05	0,95	1	1	1
Pastos naturales	1	1	1	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1	1
Vegetación acuática	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2013. Tomado del Servicio Hidrológico Nacional de El Salvador

En lo que respecta a las coberturas encontradas en el área de estudio urbana, suburbana y de expansión urbana del Municipio de Vélez, los bosques fragmentados (unidad 3.1.3) son el tipo de vegetación que retiene la mayor cantidad de agua, con prevalencia del fenómeno de la transpiración sobre la evaporación directa.

Sin embargo, debido a esta propiedad, que protege los suelos de la pérdida de agua y de la erosión por acción de los agentes atmosféricos, la vegetación boscosa es menos eficaz en sustraer el agua del terreno, por lo tanto, esta unidad de cobertura se califica con susceptibilidad alta (4) a fenómenos de remoción en masa para la variable de evapotranspiración.

Los suelos desnudos, presentan transpiración nula y una alta evaporación, por lo tanto se les asocia un valor bajo (2) de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa para esta variable.

Los pastos degradados, correspondientes a la unidad 3.3.3 (tierras desnudas y degradadas – terracetos y patas de vaca), debido a la presencia de vegetación rala y a un mayor nivel de compactación del terreno, se consideran con susceptibilidad media (3) a fenómenos de remoción en masa.

Para las superficies de agua continentales (unidad 5.1), que presentan valores máximos de evapotranspiración (100% evaporación, 0% transpiración), se les asigna una calificación de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa muy baja (1), aunque contribuyan de manera permanente a la humectación de los suelos, factor que se tiene en cuenta en la calificación de susceptibilidad para la variable profundidad de drenaje.

Con relación al tejido urbano (unidad 1.1), se puede considerar que su contribución en la sustracción de agua de los suelos es nula, y por lo tanto se les asigna una calificación de susceptibilidad muy alta (5), lo cual es oportuno si se tiene en cuenta que podrían estar empeorando las condiciones del terreno en presencia de saturación bajo de la superficie construida.



En la tabla a continuación se reporta la calificación de susceptibilidad asignada a las principales unidades de cobertura para la variable evapotranspiración.

**Tabla 16.** Calificación de las coberturas para la variable evapotranspiración.

EVAPOTRANSPIRACIÓN	RANGO [Kc]	SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN	COBERTURAS ASOCIADAS
MUY BAJA	0-0,5	5	MUY ALTA	TEJIDO URBANO CONTINUO
BAJA	0,51-0,8	4	ALTA	BOSQUES, CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS, VEGETACIÓN SECUNDARIA EN TRANSICIÓN
MEDIA	0,81-1	3	MEDIA	PASTOS LIMPIOS, CAÑA DE AZUCAR, TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS, CARRETEABLES, CULTIVOS TRANSITORIOS
ALTA	1,1-1,5	2	BAJA	SUELOS DESNUDOS
MUY ALTA	>1,5	1	MUY BAJA	CUERPOS DE AGUA

Fuente: Elaboración propia con base en Servicio Geológico Colombiano, 2013

### 6.8.2. Profundidad de drenaje (profundidad de infiltración)

Esta variable describe la facilidad con la cual el flujo de agua se mueve en el interior del suelo y se transmite hacia los horizontes inferiores y más en profundidad hacia los acuíferos (infiltración).

Entre más agua pase por las diferentes capas de la cobertura y el suelo, se almacene por un tiempo en el ecosistema y alcance el acuífero (drenaje profundo, flujo base de los cauces), menor cantidad de la misma recargaría laderas abajo (carentes de "vegetación apropiada") los suelos y menor sería las probabilidades de falla de los mismos.

El agua que penetra el suelo llena los huecos de los horizontes superficiales, cumplido lo cual, se velocidad de penetración dependerá de la velocidad con que puede moverse a través de su perfil. La infiltración disminuye rápidamente en relación directa con la profundidad del suelo, y es muy superior en los suelos forestales que en los agrícolas (TRAGSA *et al.*, 1998).

La permeabilidad está definida por los grandes poros a través de los cuales el agua puede moverse por la acción de la gravedad. Las razones que favorecen la permeabilidad de los suelos que soportan los bosques son por una parte, la continua incorporación de la materia orgánica en el suelo forestal, como consecuencia de la caída de hojas, ramillas, etc., lo que contribuye a que su estructura sea más granular (TRAGSA *et al.*, 1998).

Una cubierta arbórea con tapiz natural no perturbado mantiene la máxima infiltración en una situación dada. La infiltración es mayor en masas arbóreas adultas que en las jóvenes y disminuye con el mayor grado de intervención, siendo mayor en los bosques sin pastoreo que en los pastados, y en los montes claros que en los rasos (TRAGSA *et al.*, 1998).



De acuerdo a lo anterior, el porcentaje de agua que alcanza el acuífero varía en presencia de diferentes coberturas y suelos: en presencia de bosques, puede llegar al acuífero del 23 al 60% del agua lluvia, con una disminución hasta valores del 20% para rastrojos y del 6,5% para pastos y cultivos.

La vegetación climática (bosque, unidad 3.1) es la que tiene los mayores valores de infiltración (drenaje profundo) y constituye un factor de recarga de aguas en profundidad, lo cual evita que el agua permanezca en las capas superficiales del suelo. De acuerdo a lo anterior, esta unidad de cobertura es la que presente la menor susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa (1).

Los suelos desnudos y las tierras degradadas, por su tendencia a la compactación superficial por fenómenos físicos y la acción antrópica, presentan resistencia a la infiltración del agua, por lo que se califican con máxima susceptibilidad (5) a fenómenos de remoción en masa.

Las superficies de agua continentales (unidad 5.1) representan un factor de recarga de agua en superficie, razón por suelos que las sustentan alcanzan una susceptibilidad máxima (5).

El tejido urbano (unidad 1.1), debido a su baja capacidad de infiltración, podría considerarse con una baja susceptibilidad (2) a fenómenos de remoción en masa. Sin embargo, la red de alcantarillado (combinado) del casco urbano de Vélez y de los centros poblados de Gualilo y Palo Blanco, está conformada prevalentemente tuberías de gres, material muy susceptible a fracturarse por efecto de los desplazamientos del terreno, lo que determina fugas de agua hacia al suelo y la reducción de su comportamiento geomecánico, favoreciendo fenómenos de movimientos del suelo. Por tal razón esta unidad, para el caso particular del casco urbano del Municipio de Vélez, se califica con susceptibilidad alta (4).

En la tabla a continuación se reporta la calificación de susceptibilidad asignada a las principales unidades de cobertura para la variable drenaje profundo.

**Tabla 17.** Calificación de las coberturas para la variable drenaje profundo.

DRENAJE PROFUNDO	RANGO (%)	SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN	COBERTURAS ASOCIADAS
MUY SUPERFICIAL	0-10	5	MUY ALTA	TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS (TERRACETAS Y PATAS DE VACA), SUELOS DESNUDOS, CARRETEABLES, CUERPOS DE AGUA
SUPERFICIAL	10,1-20	4	ALTA	CULTIVOS TRANSITORIOS, PASTOS LIMPIOS, PASTOS DE CORTE, TEJIDO URBANO CONTINUO
MODERADAMENTE PROFUNDO	20,1-30	3	MEDIA	CULTIVOS PERMANENTES, CAÑA DE AZUCAR
PROFUNDO	30,1-40	2	BAJA	VEGETACIÓN SECUNDARIA EN TRANSICIÓN, CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS
MUY PROFUNDO	>40	1	MUY BAJA	BOSQUES

Fuente: Elaboración propia con base en Servicio Geológico Colombiano, 2013



### 6.8.3. Profundidad del sistema radicular

Desde la perspectiva geomecánica, la cobertura vegetal refuerza el suelo penetrándolo y conteniéndolo con su sistema radicular, el cual actúa como refuerzo y sostén, incrementando la resistencia al esfuerzo cortante y a la fuerza traxtriz del agua (Servicio Geológico Colombiano, 2013), aumentando la estabilidad de las laderas, independientemente del contenido de agua en el terreno (Preti, 2013).

En terrenos de cárcavas y barrancos, los sistemas radicales proporcionan al suelo una resistencia notable, tanto frente al arrastre de sus materiales como a los desplomes o deslizamientos superficiales. La progresión de la cárcava, bien longitudinalmente (progresión ascendente) bien transversalmente, puede verse sustancialmente limitada por la presencia de la vegetación (TRAGSA *et al.*, 1998).

Por otra parte, cuando por efecto de una perturbación (tala de árboles, incendios forestales, ataque de plagas, etc.), se produce la muerte de la vegetación existente, las raíces quedan sujetas a una progresiva descomposición, que puede determinar la formación de conductos de agua que terminan por conectarse con los resultantes de la descomposición de raíces de individuos vecinos, lo que implica inevitablemente una reducción de resistencia a la tracción y de la cohesión que el sistema radicular estaba confiriendo al suelo, con un progresivo aumento de la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa en el tiempo (Preti, 2013).

Con el fin de adoptar un criterio objetivo para la calificación de las coberturas para la variable del sistema radicular, se han tomado como referencia los rangos de profundidad alcanzados por las raíces (en centímetros), reportados por el Servicio Geológico Colombiano (2013).

De acuerdo a lo anterior, las coberturas que mejor protegen de la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa son los bosques, seguidos por arbustales, vegetación secundaria, pastos y cultivos, los cuales pueden tener una profundidad radicular variable, en función del tipo de cultivo y de la presencia de árboles y rastrojos.

Respecto a la vegetación, los bosques (unidad 3.1), que representan la vegetación climácica para las condiciones del municipio de Vélez, son los que tienen la mayor profundidad radicular, lo cual favorece la agregación del suelo y hace que los terrenos con este tipo de cobertura sean los menos susceptibles a fenómenos de remoción en masa (1).

Los pastos que se encuentran en condiciones de degradación por efecto de la ganadería, así como los suelos desnudos (tierras desnudas y degradadas - unidad 3.3.3), tienen profundidad radicular baja o nula, lo que facilita la desagregación del suelo y lo hace más susceptible a fenómenos de remoción en masa, por lo que se le asigna una calificación de máxima susceptibilidad (5).

Las aguas continentales (unidad 5.1), no poseen un sistema radicular que favorezca la agregación del suelo y constituyen un factor de recarga constante de los suelos circundantes, por lo tanto, los terrenos que los sustentan tiene máxima susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa (5).

En cuanto al tejido urbano (unidad 1.1), aunque no aplique el análisis de la variable del sistema radicular, se puede considerar que este posee, en cierto modo, un entramado superficial conformado por las cimentaciones de las edificaciones por lo tanto, a esta unidad



de cobertura y uso del suelo se le asigna una calificación de susceptibilidad media (3) a fenómenos de remoción en masa.

En la tabla a continuación se reporta la calificación de susceptibilidad asignada a las principales unidades de cobertura para la variable profundidad del sistema radicular.

**Tabla 18.** Calificación de las coberturas para la variable profundidad del sistema radicular.

PROFUNDIDAD DEL SISTEMA RADICULAR	RANGO [cm]	SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACION	COBERTURAS ASOCIADAS
MUY SUPERFICIAL	menos de 25 cm	5	MUY ALTA	TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS (TERRACETAS Y PATAS DE VACA), SUELOS DESNUDOS, CARRETEABLES, CUERPOS DE AGUA
SUPERFICIAL	25-50 cm	4	ALTA	CULTIVOS TRANSITORIOS, PASTOS LIMPIOS, PASTOS DE CORTE
MODERADAMENTE PROFUNDO	50-100 cm	3	MEDIA	CULTIVOS PERMANENTES, CAÑA DE AZUCAR, TEJIDO URBANO CONTINUO
PROFUNDO	110-150 cm	2	BAJA	VEGETACIÓN SECUNDARIA EN TRANSICIÓN, CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS
MUY PROFUNDO	mayor de 150 cm	1	MUY BAJA	BOSQUES

Fuente: Elaboración propia con base en Servicio Geológico Colombiano, 2013

#### 6.8.4. Estratos de la cobertura

La vegetación intercepta las precipitaciones atmosféricas reteniéndolas en sus troncos, ramas, tallos y hojas, haciendo que parte de las mismas no llegue al suelo.

La magnitud de este fenómeno depende de la intensidad de las lluvias, las especies vegetales que componen la vegetación, su edad, sus características y las circunstancias del medio (temperatura ambiental, presión atmosférica, etc.).

Por otra parte, la cubierta vegetal se presenta como un agente extraordinariamente eficaz en la disipación de la energía cinética de las gotas de lluvia, destacando este papel protector de la cubierta próxima al suelo o en contacto con él y de los restos de la vegetación, ya que el dosel arbóreo, a partir de siete u ocho metros de altura, permite a las gotas recuperar parte de su velocidad terminal de caída y con ella, la energía cinética de las lluvias.

La disipación de la energía cinética de las gotas reduce considerablemente la fragmentación de los agregados del suelo, manteniendo la tasa de infiltración del agua a través del terreno (TRAGSA *et al.*, 1998).

La magnitud de los fenómenos anteriormente descritos, puede estimarse tomando como referencia el número de estratos que componen la vegetación: coberturas de mayor porte y más masa foliar como los bosques densos altos, con presencia de un mayor número de estratos, funcionan como un sustrato aéreo de almacenamiento de agua antes de que ésta alcance la superficie del suelo, y a mayor estratificación se tendrá entonces una menor



recarga de los suelos y una menor probabilidad de falla de los mismos. Con la disminución de los estratos de la vegetación disminuye la capacidad de interceptación de aguas lluvias, lo cual corresponde a un aumento de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa.

Bosques bien evolucionados, que pueden presentar hasta 4 estratos, obtendrán una calificación baja, mientras que los cultivos limpios, que solo presentan 1 estrato, obtendrán una calificación alta.

De acuerdo a lo anterior, los bosques (unidad 3.1) garantizan la mayor interceptación de precipitaciones, evitando el escurrimiento de agua en superficie. Por lo tanto, los suelos con este tipo de cobertura presentan la menor susceptibilidad (1) a fenómenos de remoción en masa.

Al contrario, las tierras desnudas y degradadas, debido a la ausencia total de vegetación, quedan totalmente expuestas a las precipitaciones, por lo tanto se les califica con máxima susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa (5).

Para las aguas continentales (unidad 5.1), la ausencia de cobertura determina una mayor recarga y un mayor aporte de aguas superficiales, lo que significa niveles máximos de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa (5).

El tejido urbano (unidad 1.1), por la presencia de los sistemas de canalización y drenaje de aguas lluvias, que actúan interceptando las precipitaciones, se califica con una susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa baja (2).

En la tabla a continuación se reporta la calificación de susceptibilidad asignada a las principales unidades de cobertura para la variable estratos de la cobertura.

**Tabla 19.** Calificación de las coberturas para la variable estratos de la cobertura.

ESTRATOS DE LA COBERTURA	RANGO IN (Estratos)	SUSCEPTIBILIDAD	Calificación	COBERTURAS ASOCIADAS
NO PRESENTA	0	5	MUY ALTA	TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS, SUELOS DESNUDOS, CARRETEABLES, CUERPOS DE AGUA
BAJA DENSIDAD ESTRUCTURAL	1	4	ALTA	PASTOS LIMPIOS, CULTIVOS TRANSITORIOS
MEDIA DENSIDAD ESTRUCTURAL	2	3	MEDIA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS, VEGETACIÓN SECUNDARIA BAJA
MODERADAMENTE ALTA	3	2	BAJA	VEGETACIÓN SECUNDARIA ALTA, CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS, TEJIDO URBANO CONTINUO
ALTA DENSIDAD ESTRUCTURAL	4	1	MUY BAJA	BOSQUES

Fuente: Elaboración propia con base en Servicio Geológico Colombiano, 2013



### 6.8.5. Calificación de las unidades de uso y cobertura del suelo

Tomando como base la metodología antes descrita y los valores de referencias reportados para cada variable considerada, se han calificado individualmente todas las unidades de cobertura de las áreas de estudio, con el fin de determinar la susceptibilidad a fenómenos de remoción para cada una.

Con el fin de realizar una evaluación lo más objetiva posible, se ha priorizado la calificación de las unidades más puras (pastos limpios, cultivos puros, tierras desnudas y degradadas, tejido urbano continuo, etc.), para después utilizar los valores de referencia asignados para calificar las coberturas más complejas o genéricas (pastos enmalezados y arbolados, zonas verdes urbanas, bosque fragmentado con pastos y/o cultivos, etc.), de acuerdo a su composición.

La calificación final de cada unidad de uso y cobertura del suelo se obtuvo del promedio de las calificaciones asignada a cada una de las cuatro variables consideradas.

Los bosques fragmentados (unidad 3.1.3) que representan la vegetación más evolucionada que se encuentra en correspondencia del casco urbano de Vélez y de los centros poblados de Gualilo y Palo Blanco, la vegetación secundaria alta (unidad 3.2.3.1) y las zonas verdes urbanas (unidad 1.4.1.1), son las unidades de uso y cobertura que confieren al territorio la menor susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa (2).

Las áreas agrícolas heterogéneas (unidad 2.4), la vegetación secundaria baja (unidad 3.2.3.2), los cultivos permanentes (unidad 2.2), los pastos arbolados (unidad 2.3.2) y enmalezados (unidad 2.3.3), los parques cementerios (unidad 1.4.1.2) y las áreas deportivas (1.4.2.2) se califican con susceptibilidad media a fenómenos de remoción en masa (3).

Las zonas urbanizadas (unidad 1.1), la red vial (unidad 1.2), los cultivos transitorios (2.1), los pastos limpios (2.3.1), las zonas quemadas (unidad 3.3.4) y los cuerpos de agua artificiales (5.1.4) se califican con susceptibilidad alta a fenómenos de remoción en masa (4).

Las tierras desnudas y degradadas, que corresponden principalmente a los pastos destinados a uso como potreros con presencia de terracetas y patas de vaca (unidad 3.3.3), representan los territorios con mayor susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa (5).

A continuación se reporta la matriz de calificación de unidades de cobertura utilizada para el estudio con el promedio obtenido y la calificación de susceptibilidad redondeada a 0 cifras decimales.



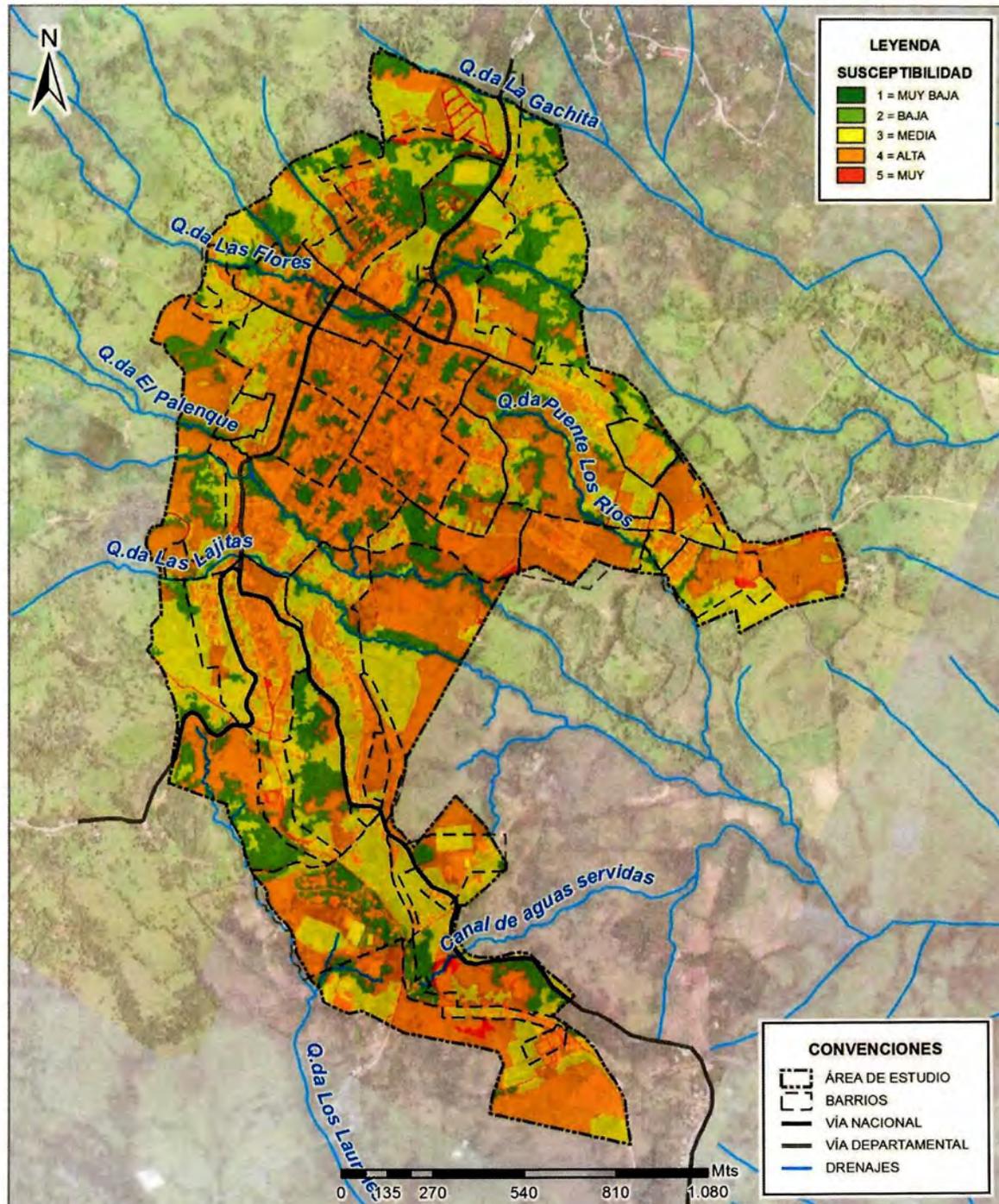
Tabla 20. Matriz de calificación de las unidades de cobertura.

UNIDAD DE USO Y COBERTURA		ETP	PR	DP	E	PROMEDIO	SUSCEPTIBILIDAD
<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>		<b>4.63</b>	<b>2.88</b>	<b>3.83</b>	<b>1.88</b>	<b>3.30</b>	<b>3.00</b>
1.1	<b>ZONAS URBANIZADAS</b>	5.00	3.00	4.00	2.00	3.50	4.00
1.1.1	TEJIDO URBANO CONTINUO	5.00	3.00	4.00	2.00	3.50	4.00
1.1.2	TEJIDO URBANO DISCONTINUO	5.00	3.00	4.00	2.00	3.50	4.00
1.2	<b>ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN</b>	5.00	3.00	4.00	2.00	3.50	4.00
1.2.2	RED VIAL Y TERRENOS ASOCIADOS	5.00	3.00	4.00	2.00	3.50	4.00
1.2.2.1	RED VIAL Y TERRENOS ASOCIADOS	5.00	3.00	4.00	2.00	3.50	4.00
1.4	<b>ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS, NO AGRICOLAS</b>	3.88	2.63	3.50	1.63	2.91	3.00
1.4.1	ZONAS VERDES URBANAS	3.75	2.25	3.00	1.25	2.56	3.00
1.4.1.1	OTRAS ZONAS VERDES URBANAS	3.50	2.00	2.50	1.00	2.25	2.00
1.4.1.2	PARQUES CEMENTERIOS	4.00	2.50	3.50	1.50	2.88	3.00
1.4.2	INSTALACIONES RECREATIVAS	4.00	3.00	4.00	2.00	3.25	3.00
1.4.2.2	ÁREAS DEPORTIVAS	4.00	3.00	4.00	2.00	3.25	3.00
<b>2. TERRITORIOS AGRICOLAS</b>		<b>3.36</b>	<b>3.29</b>	<b>3.18</b>	<b>3.24</b>	<b>3.27</b>	<b>3.00</b>
2.1	<b>CULTIVOS TRANSITORIOS</b>	3.00	4.00	4.00	4.00	3.75	4.00
2.1.2	CEREALES	3.00	4.00	4.00	4.00	3.75	4.00
2.1.2.2	MAÍZ	3.00	4.00	4.00	4.00	3.75	4.00
2.1.3	OLEAGINOSAS Y LEGUMINOSAS	3.00	4.00	4.00	4.00	3.75	4.00
2.1.3.3	FRÍJOL	3.00	4.00	4.00	4.00	3.75	4.00
2.1.5	TUBÉRCULOS	3.00	4.00	4.00	4.00	3.75	4.00
2.1.5.2	YUCA	3.00	4.00	4.00	4.00	3.75	4.00
2.2	<b>CULTIVOS PERMANENTES</b>	3.75	2.38	2.25	2.50	2.72	3.00
2.2.1	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	3.50	2.75	2.50	3.00	2.94	3.00
2.2.1.2	CAÑA	3.00	3.00	3.00	4.00	3.25	3.00
2.2.1.3	PLÁTANO	4.00	2.50	2.00	2.00	2.63	3.00
2.2.2	CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS	4.00	2.00	2.00	2.00	2.50	3.00
2.2.2.2	CAFÉ	4.00	2.00	2.00	2.00	2.50	3.00
2.2.2.3	CACAO	4.00	2.00	2.00	2.00	2.50	3.00
2.3	<b>PASTOS</b>	3.33	3.67	3.33	3.33	3.42	3.00
2.3.1	PASTOS LIMPIOS	3.00	4.00	4.00	4.00	3.75	4.00
2.3.2	PASTOS ARBOLADOS	3.50	3.50	3.00	3.00	3.25	3.00
2.3.3	PASTOS ENMALEZADOS	3.50	3.50	3.00	3.00	3.25	3.00
2.4	<b>ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS</b>	3.38	3.13	3.13	3.13	3.19	3.00
2.4.2	MOSAICO DE PASTOS Y CULTIVOS	3.00	3.50	3.50	3.50	3.38	3.00
2.4.3	MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES	3.50	3.00	3.00	3.00	3.13	3.00
2.4.4	MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES	3.50	3.00	3.00	3.00	3.13	3.00
2.4.5	MOSAICO DE CULTIVOS CON ESPACIOS NATURALES	3.50	3.00	3.00	3.00	3.13	3.00
<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>		<b>3.38</b>	<b>2.67</b>	<b>2.67</b>	<b>2.92</b>	<b>2.90</b>	<b>3.00</b>
3.1	<b>BOSQUES</b>	3.75	1.25	1.25	1.25	1.88	2.00
3.1.3	BOSQUE FRAGMENTADO	3.75	1.25	1.25	1.25	1.88	2.00
3.1.3.1	BOSQUE FRAGMENTADO CON PASTOS Y CULTIVOS	3.50	1.50	1.50	1.50	2.00	2.00
3.1.3.2	BOSQUE FRAGMENTADO CON VEGETACIÓN SECUNDARIA	4.00	1.00	1.00	1.00	1.75	2.00
3.2	<b>ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA</b>	3.75	1.75	1.75	2.50	2.44	2.00
3.2.3	VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN	3.75	1.75	1.75	2.50	2.44	2.00
3.2.3.1	VEGETACIÓN SECUNDARIA ALTA	4.00	1.50	1.50	2.00	2.25	2.00
3.2.3.2	VEGETACIÓN SECUNDARIA BAJA	3.50	2.00	2.00	3.00	2.63	3.00
3.3	<b>ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCAS VEGETACIÓN</b>	2.50	5.00	5.00	5.00	4.38	4.00
3.3.3	TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS	3.00	5.00	5.00	5.00	4.50	5.00
3.3.4	ZONAS QUEMADAS	2.00	5.00	5.00	5.00	4.25	4.00
<b>4. SUPERFICIES DE AGUA</b>		<b>1.00</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>
5.1	<b>AGUAS CONTINENTALES</b>	1.00	5.00	5.00	5.00	4.00	4.00
5.1.4	CUERPOS DE AGUA ARTIFICIALES	1.00	5.00	5.00	5.00	4.00	4.00

ETP: evapotranspiración; PR: profundidad radicular; DP: drenaje profundo; E: estratos de la cobertura.

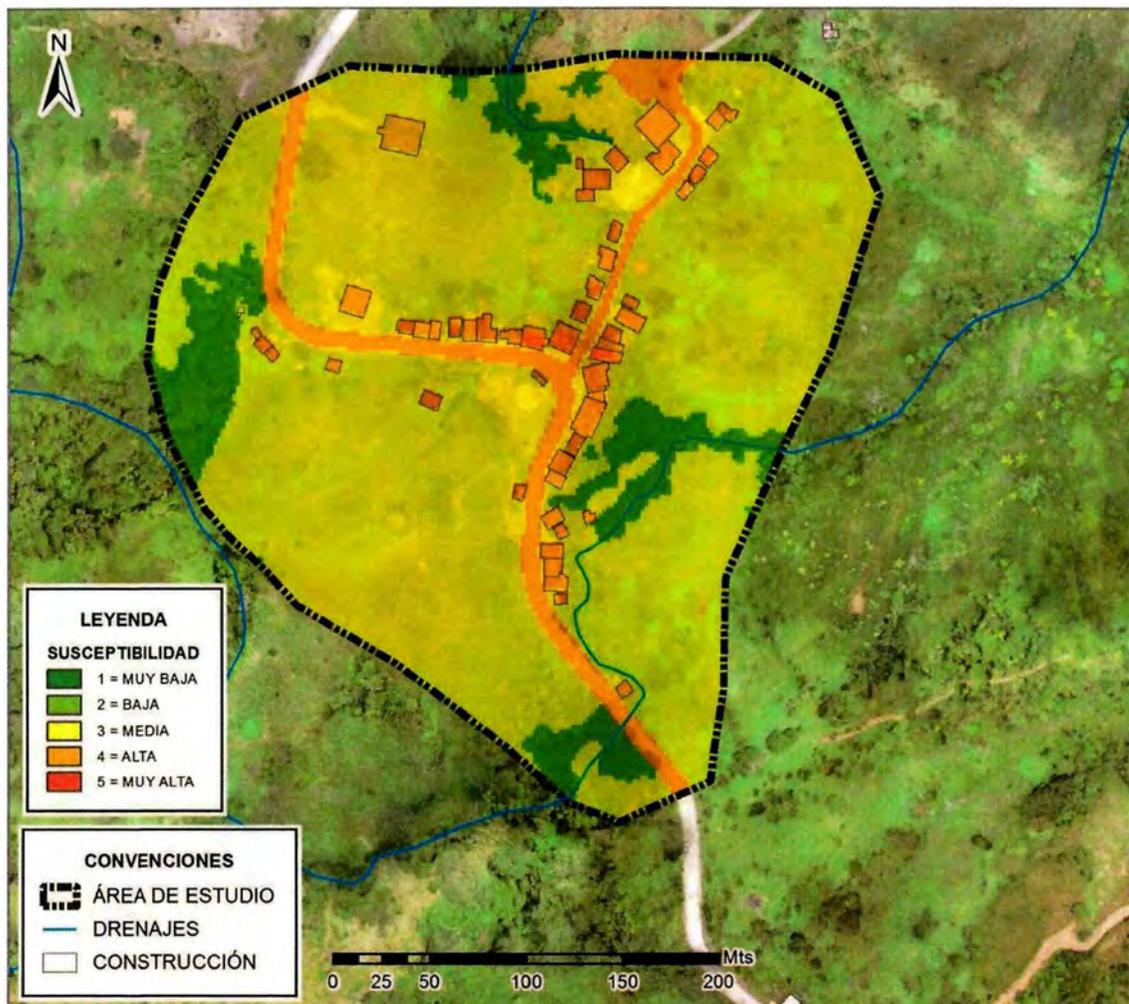
Fuente: Equipo Técnico - UIS.

Figura 144. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa por uso y cobertura del suelo, casco urbano de Vélez (Plano U-11).



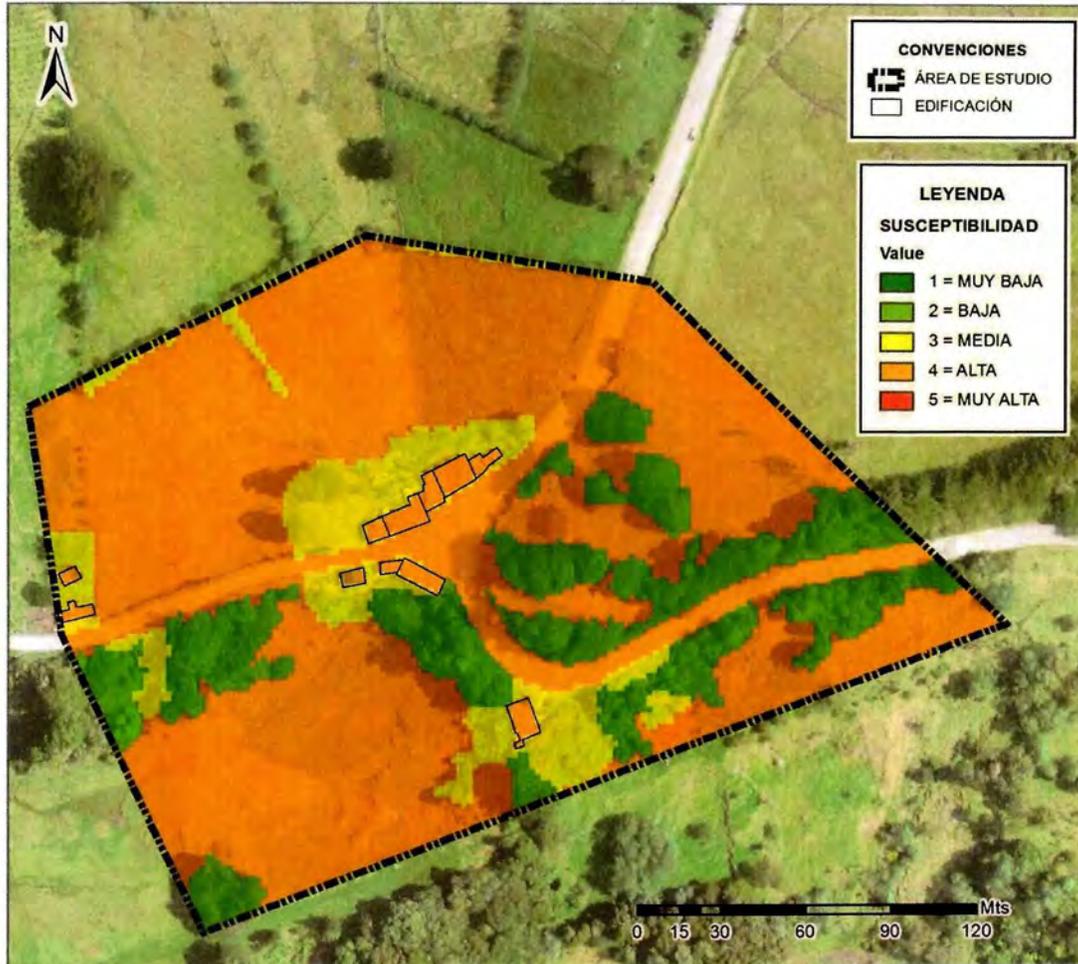
Fuente: Equipo Técnico - UIS.

Figura 145. Mapa de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, centro poblado Gualilo.



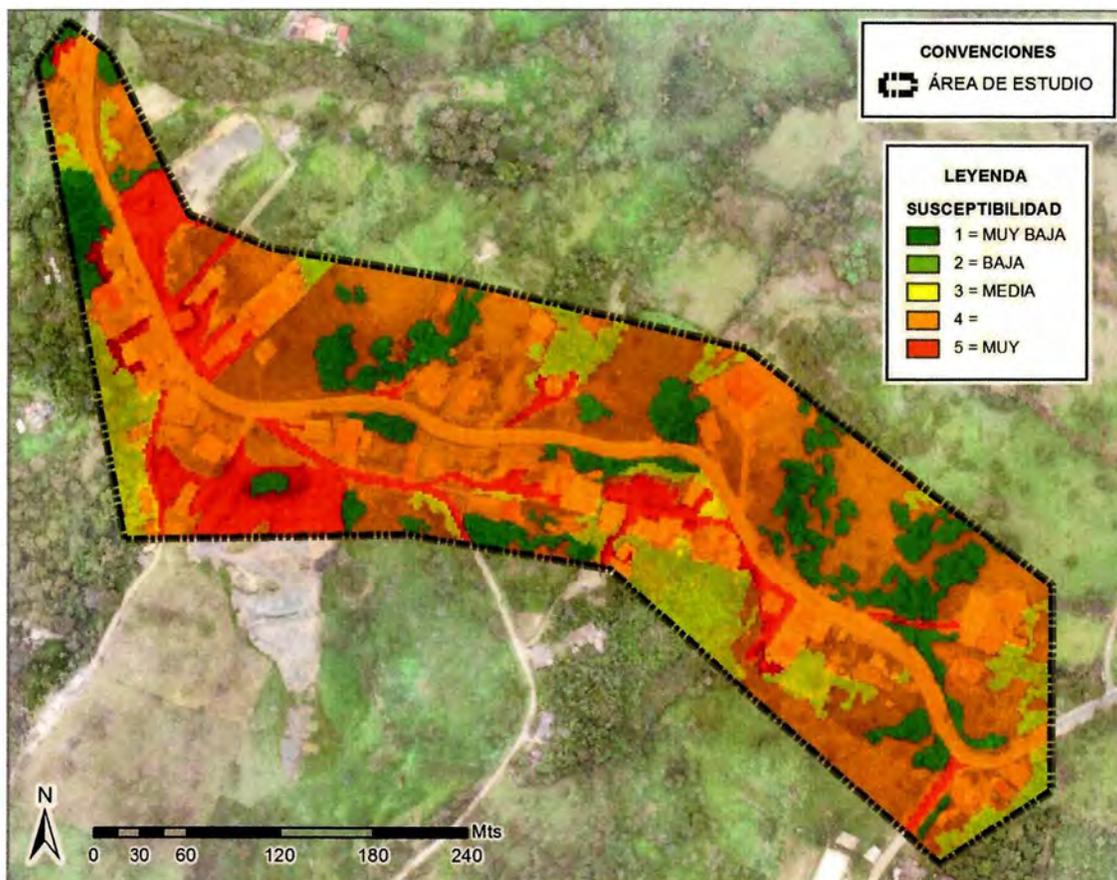
Fuente: Equipo Técnico - UIS.

**Figura 146.** Mapa de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, centro poblado Palo Blanco.



Fuente: Equipo Técnico - UIS.

Figura 147. Mapa de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, centro poblado Los Guayabos.



Fuente: Equipo Técnico - UIS.



## 7. HIDROGEOLOGÍA

### 7.1. CONTEXTO HIDROLOGICO GENERAL

Se denomina cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje de un río o corriente de agua en consideración, al área topográfica limitada por un contorno, al interior del cual las aguas lluvias que caen drenan hacia el mismo punto, ya sea de salida o de interés particular.

En muchos casos, para la aplicación de los diferentes modelos hidrológicos es necesario dividir la cuenca de estudio en una serie de unidades de menor área y de comportamiento homogéneo según los criterios de la orografía, los usos mayoritarios del suelo, la intensidad de las precipitaciones, etc., a estas subdivisiones se les denomina unidades hidrológicas. Estas sub divisiones hidrológicas pueden ser sub cuencas, micro cuencas, sectores o unidades Hidrológicas, o bien tramos intermedios entre estas vertientes directas al propio cauce.

El movimiento del agua dentro de la cuenca es una función compleja que está condicionada a las características fisiográficas de la cuenca. El área, el tipo y uso del suelo, la posición y orientación, la forma, pendiente, la elevación y la red de drenaje son las principales características fisiográficas de una cuenca. Para la determinación de estas características es necesario el uso de un plano topográfico en una escala adecuada, dependiendo del área de estudio. Según Jiménez (1986) se pueden emplear las siguientes escalas.

Tabla 21. Escala recomendadas de trabajo para diferentes cuencas.

AREA (Km <sup>2</sup> )	ESCALA
1	1:5000
100	1:10000
1000	1:25000
5000	1:50000
10000	1:100000
25000	1:200000

Fuente: MARTINEZ, 2005

El área de una cuenca está conformada por las vertientes las cuales corresponden a las áreas receptoras de la precipitación y se extienden sobre cada una de las márgenes del río principal. Para uniformizar la terminología dada a las diferentes áreas que conforman una cuenca hidrológica según su extensión, éstas se clasifican como se muestra en la tabla 22.



**Tabla 22.** Clasificación de una Cuenca de acuerdo a su área.

Clasificación de la cuenca	Área
Unidad hidrológica	Menor a 5.0 km <sup>2</sup>
Sector hidrológico	5.0 a 20.0 Km <sup>2</sup>
Micro cuenca	20.0 a 100.0 Km <sup>2</sup>
Sub cuencas	100.0 a 300 Km <sup>2</sup>
Cuenca	Mayor 300 Km <sup>2</sup>

Fuente: MARTINEZ, 2005

Dentro de la cuenca se tienen los componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos, cuyas funciones se describen a continuación, y cuyos procesos en los que existe intercambio de materia y flujo de energía a través de la vinculación de sus elementos estructurales pueden ser vistos como un sistema.

1. Captación de agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar la escorrentía de manantiales, arroyos, quebradas y ríos.
2. Almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de retención.
3. Descarga del agua superficial como escorrentía.

#### 7.1.1. Función Ecológica

1. Provee diversidad de sitios y rutas a lo largo de las cuales se llevan a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua.
2. Provee de hábitat para la flora y fauna que constituye los elementos biológicos del ecosistema y tienen interacciones entre las características físicas y biológicas del agua.

#### 7.1.2. Función Ambiental

1. Constituyen sumideros de CO<sup>2</sup>
2. Alberga bancos de germoplasma
3. Regula la carga hídrica y los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos.
4. Conserva la biodiversidad
5. Sostiene y Mantiene la integridad y la diversidad de los suelos.

Entre las variables que se estudian de una cuenca, están las de **relieve**, entendido éste como la tercera dimensión de la misma, considerando en el presente documento, las de mayor importancia y con razón, pues por ejemplo la **pendiente**, tiene influencia directa con el tipo de drenaje, forma de los canales, tipo de escurrimiento. Potencial erosivo y potencial de transporte de sedimentos o carga sólida, formas de modelado del paisaje resultante, características de la infiltración, depósitos en los lechos de sus cauces, aspectos todos de peso en el sistema de drenaje de una cuenca.



## 7.2. TIPO DE DRENAJE PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Para el área de estudio correspondiente al casco urbano del municipio de Vélez, (escala de trabajo 1:2000), se observa un drenaje de tipo subdendrítico.

## 7.3. DEFINICION DE UNIDADES HIDROLÓGICAS PRESENTES EN EL ÁREA URBANA DE VÉLEZ

El área de una cuenca corresponde a la proyección horizontal limitada por la línea imaginaria llamada divisoria de aguas, esta línea separa la precipitación que recibe la

La línea divisoria de aguas no debe cortar ninguna corriente de agua, salvo en el punto de salida y une los puntos de máxima altura entre cuencas, lo que no impide que en el interior de una cuenca existan picos aislados con una cota superior a cualquier cota de la divisoria.

El área es una de las características más importantes de las cuencas, debido a que esta área determina la cantidad de agua recogida en la precipitación y drenada por la cuenca como escorrentía

Para el área urbana del municipio de Vélez, se definió en el marco del convenio inter administrativo 9677-04-1127-2013, una escala de trabajo 1:2000, conveniente por su nivel de detalle y muy superior a las escalas recomendadas.

En el proceso de demarcación de cuencas, se definen Ocho (08) Unidades hidrológicas como se muestra en las tablas 23 y 24, y la figura 148.

**Tabla 23.** Cuencas definidas para la Zona Urbana del Municipio de Vélez.

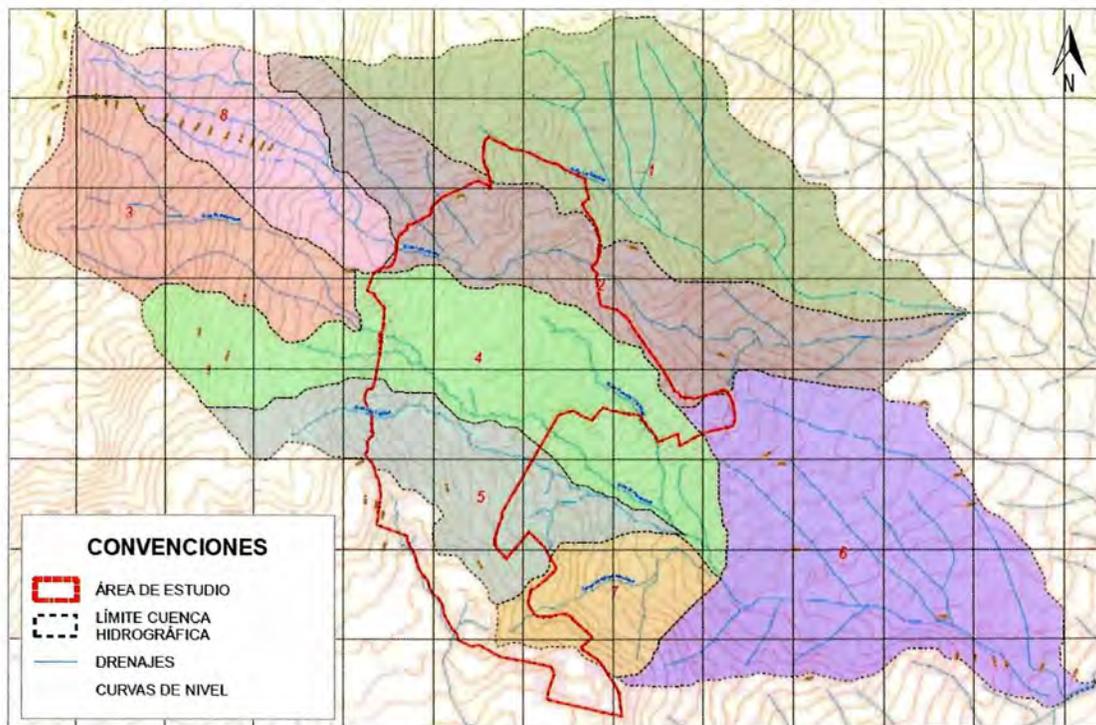
CUENCA	VERTIENTE	AREA VERTIENTE [m <sup>2</sup> ]	ÁREA TOTAL km <sup>2</sup>
1 Quebrada La Gachita	DERECHA	659,571.6	2.50
	IZQUIERDA	1,835,693.6	
2 Quebrada Las Flores Bajo	DERECHA	652,740.9	1.87
	IZQUIERDA	1,221,991.5	
3 Quebrada El Palenque Alto	DERECHA	948,321.5	1.29
	IZQUIERDA	345,451.9	
4 Quebrada El Palenque Bajo	DERECHA	748,690.4	2.09
	IZQUIERDA	1,344,219.2	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 24.** Cuencas definidas para la Zona Urbana del Municipio de Vélez (continuación).

CUENCA	VERTIENTE	AREA VERTIENTE [m <sup>2</sup> ]	ÁREA TOTAL km <sup>2</sup>
5 Quebrada Las Lajitas	DERECHA	838,436.1	1.16
	IZQUIERDA	318,496.2	
6 Quebradas de Oriente	DERECHA	691,633.2	2.72
	IZQUIERDA	2,031,999.7	
7 Canal Aguas Servidas	DERECHA	371,650.0	0.62
	IZQUIERDA	248,466.7	
8 Quebrada Las Flores Alto	DERECHA	350.447.4	1.01
	IZQUIERDA	655.036.8	
Área Total de estudio en Km <sup>2</sup>			13,26

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 148.** Definición de unidades hidrológicas en la zona urbana de Vélez (Plano U-12).

Fuente: Elaboración Propia



El área de una cuenca tiene gran influencia en el régimen hidrológico, específicamente en la magnitud del caudal que va a drenar, pues dependiendo de su magnitud, los caudales de escorrentía resultantes serán mayores o menores. Normalmente a medida que aumenta el área de la cuenca, crecerán proporcionalmente los caudales promedios mínimos y los máximos instantáneos.

Los gradientes de crecimiento del caudal promedio con el área de la cuenca no son constantes ni homogéneos en una región; si no que varían dependiendo de las características hidro meteorológicas, de cobertura y fisiográficas de la misma.

El área de la cuenca influye también en la atenuación de crecientes; es así como en cuencas de poca extensión la avenida (riada o creciente) se presenta en un corto lapso de tiempo que puede ser de algunos minutos u horas, mientras que para grandes zonas la creciente se presentara al cabo de algunos días o semanas debido al que el área precipitada debe recorrer una mayor distancia para llegar al punto de drenaje. La presencia de zonas inundables y bajas atenúan los caudales de crecida que se pueden presentar aguas abajo de ellas, por que sirven como colectores retardadores del tránsito de agua.

En una cuenca se distinguen más de cuarenta elementos: morfológicos. En el presente documento solamente analizará algunos de ellos, que se consideran los más importantes.

### 7.3.1. Perímetro

Corresponde a la medida de la línea envolvente del área. Para la zona del casco urbano tenemos los siguientes perímetros medidos para cada una de las cuencas como lo muestra la tabla 25.

**Tabla 25.** Perímetro definido para las cuencas en la zona urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	Perímetro [m]
1 Quebrada La Gachita	9038.34
2 Quebrada Las Flores Bajo	10086.98
3 Quebrada El Palenque Alto	5458.34
4 Quebrada El Palenque Bajo	9225.69
5 Quebrada Las Lajitas	6613.06
6 Quebradas de Oriente	8341.34
7 Canal Aguas Servidas	3351.95
8 Quebrada Las Flores Alto	5360.01

Fuente: Elaboración Propia



### 7.3.2. Longitud de la cuenca

Se define generalmente, como la distancia medida a lo largo del canal principal de drenaje desde la salida de la cuenca hasta la divisoria de aguas en su extremo superior. El canal principal debe seguir la línea de mayores caudales. La longitud se toma a lo largo de los canales y no en línea recta. La longitud de la cuenca va a determinar un parámetro en el tiempo, que corresponde a la medida del tiempo de transporte del agua desde la divisoria de aguas hasta la salida de la cuenca (tiempo de concentración).

**Tabla 26.** Longitud de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	LONGITUD CUENCA [m]
1 Quebrada La Gachita	3865.5
2 Quebrada Las Flores Bajo	3879.6
3 Quebrada El Palenque Alto	2044.5
4 Quebrada El Palenque Bajo	3338.0
5 Quebrada Las Lajitas	2755.0
6 Quebradas de Oriente	2275.4
7 Canal Aguas Servidas	1296.8
8 Quebrada Las Flores Alto	2165.1

Fuente: Elaboración Propia

### 7.3.3. Ancho promedio

Se encuentra dividiendo el área de la cuenca por su longitud axial, así:

$$\text{Ancho promedio} = \frac{\text{area}}{\text{longitud axial}}$$

**Tabla 27.** Ancho promedio de las Cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	ANCHO PROMEDIO [m]
1 Quebrada La Gachita	645.5
2 Quebrada Las Flores Bajo	483.2
3 Quebrada El Palenque Alto	632.8
4 Quebrada El Palenque Bajo	627.0
5 Quebrada Las Lajitas	419.9
6 Quebradas de Oriente	1197.0
7 Canal Aguas Servidas	478.2
8 Quebrada Las Flores Alto	464.4

Fuente: Elaboración Propia



### 7.3.4. Forma de la cuenca

El parámetro forma de la cuenca, controla la velocidad con que el agua sobre el cauce principal sigue su curso, desde su origen hasta la desembocadura si la tiene, o hasta su punto más bajo.

Se han propuesto varios coeficientes que enseñan gran parte de la organización del drenaje dentro de la cuenca y otros factores que afectan la hidrología de la corriente., veamos algunos.

#### 7.3.4.1. Factor forma (*Ff*)

Índice Propuesto inicialmente por Gravelius. Trata de relacionar la superficie de una cuenca con un rectángulo o cuadrado idealizado, está definido entonces por la expresión:

$$Ff = \frac{\text{ancho promedio}}{\text{longitud axial}}$$

Un *Ff* mayor a la unidad, indicará un grado de achatamiento de la cuenco o lo que es lo mismo, un cauce principal corto; ésta condición tiene como consecuencia, el concentrar el escurrimiento de lluvias intensas formando grandes avenidas.

**Tabla 28.** Factor de forma de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	FACTOR DE FORMA
1 Quebrada La Gachita	0.17
2 Quebrada Las Flores Bajo	0.12
3 Quebrada El Palenque Alto	0.31
4 Quebrada El Palenque Bajo	0.19
5 Quebrada Las Lajitas	0.15
6 Quebradas de Oriente	0.53
7 Canal Aguas Servidas	0.37
8 Quebrada Las Flores Alto	0.21

Fuente: Elaboración Propia

Para la zona Urbana, se observa que dicho coeficiente o factor de forma, es pequeño (<0.54), ésta condición no favorece la generación de grandes avenidas.



**7.3.4.2. Coeficiente de compacidad *Kc***

Llamado también Índice de Gravelius. Éste parámetro se encuentra estrechamente relacionado con el tiempo de concentración, es decir con el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana hidrológicamente de la cuenca hasta su desagüe, y trata de comparar la superficie de la cuenca, con un círculo idealizado.

$$Kc = \frac{P_{cuenca}}{2\sqrt{\pi A}}$$

Si el *Kc* tiende a 1 la cuenca tiende a ser redonda, aumentando la amenaza y la generación de grandes Avenidas.

**Tabla 29.** Clases de forma de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez.

CLASE DE FORMA	RANGOS DE CLASE	FORMA DE LA CUENCA
Clase <i>Kc</i> 1	De 1.0 a 1.25	Casi redonda a oval- redonda
Clase <i>Kc</i> 2	De 1.25 a 1.50	Oval redonda a oval- oblonga
Clase <i>Kc</i> 3	De 1.50 a 1.75	Oval- oblonga a rectangular – oblonga

Fuente: HENAO, 2003

Para las corrientes superficiales en el área urbana se tienen los *Kc* mostrados en la siguiente tabla:

**Tabla 30.** Coeficiente de compacidad (*Kc*) de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	COEF. COMPACIDAD <i>KC</i>	FORMA
1 Quebrada La Gachita	1.61	Oval Oblonga. Rectangular Oblonga
2 Quebrada Las Flores Bajo	2.08	Rectangular Oblonga
3 Quebrada El Palenque Alto	1.35	Oval Redonda. Grandes de Avenidas
4 Quebrada El Palenque Bajo	1.80	Oval Oblonga. Rectangular Oblonga
5 Quebrada Las Lajitas	1.73	Oval Oblonga. Rectangular Oblonga
6 Quebradas de Oriente	1.43	Oval Oblonga.
7 Canal Aguas Servidas	1.20	Oval Redonda. Grandes de Avenidas
8 Quebrada Las Flores Alto	1.51	Oval Oblonga.

Fuente: Elaboración Propia



### 7.3.5. Otros índices de forma

Se han definido otros índices de forma los cuales se calculan a continuación.

#### 7.3.5.1. Índice de alargamiento

Se obtiene relacionando la longitud más grande de la cuenca con el ancho mayor, medido perpendicularmente.

$$I_a = \frac{L}{A}$$

L: longitud máxima de la cuenca

A: Ancho máximo (tomado perpendicularmente a la dirección anterior).

**Tabla 31.** Índice de alargamiento de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	ÍNDICE ALARGAMIENTO
1 Quebrada La Gachita	3.30
2 Quebrada Las Flores Bajo	4.72
3 Quebrada El Palenque Alto	2.03
4 Quebrada El Palenque Bajo	4.04
5 Quebrada Las Lajitas	3.35
6 Quebradas de Oriente	1.21
7 Canal Aguas Servidas	1.54
8 Quebrada Las Flores Alto	3.05

Fuente: Elaboración Propia

#### 7.3.5.2. Índice de homogeneidad

Se obtiene relacionando el área de la cuenca con la de un rectángulo que tiene por eje mayor la longitud máxima de la cuenca y por eje o lado menor el ancho máximo de la cuenca.

$$I_h = \frac{S}{S_z}$$

Ih: índice de homogeneidad

S: área de la cuenca

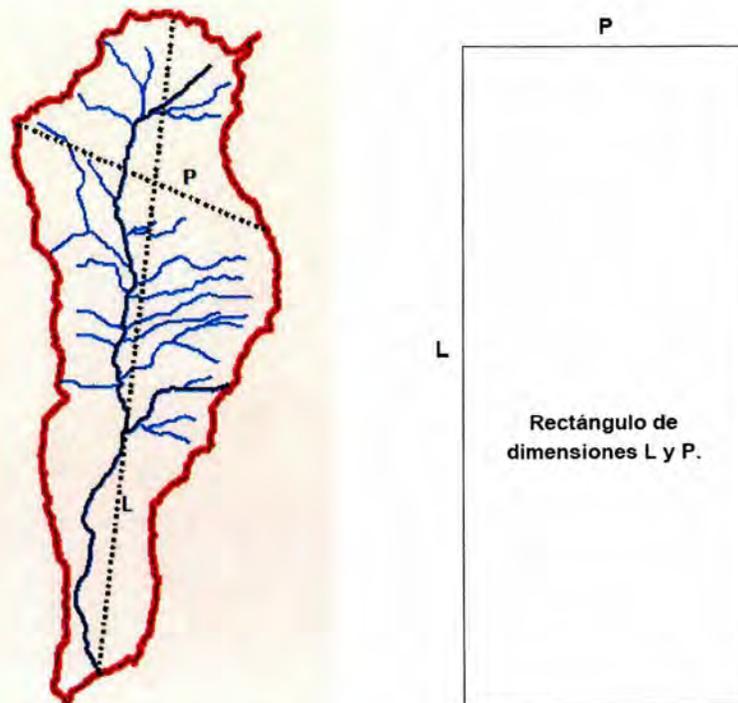
Sz: superficie del rectángulo con dimensiones L y P.

**Tabla 32.** Índice de homogeneidad de las cuencas en la zona urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD
1 Quebrada La Gachita	0.55
2 Quebrada Las Flores Bajo	0.59
3 Quebrada El Palenque Alto	0.63
4 Quebrada El Palenque Bajo	0.76
5 Quebrada Las Lajitas	0.51
6 Quebradas de Oriente	0.64
7 Canal Aguas Servidas	0.57
8 Quebrada Las Flores Alto	0.65

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 149.** Delimitación del rectángulo de las cuencas en la zona urbana del Municipio de Vélez.



Fuente: Elaboración Propia



### 7.3.5.3. Índice de asimetría

Se obtiene comparando la relación de superficies entre la vertiente más extensa y la menos extensa.

$$Ad = \frac{A_{v \max}}{A_{v \min}}$$

Si el  $Ad$  se acerca a 1, el drenaje se considera homogéneo de una vertiente a otra.

Si el  $Ad$  es mayor a 1, el talweg principal no se encuentra en el centro de la cuenca, presumiéndose un recargo de la red de drenaje hacia una de las vertientes.

**Tabla 33.** Índice de asimetría de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	Índice Ad
1 Quebrada La Gachita	0.36
2 Quebrada Las Flores Bajo	1.87
3 Quebrada El Palenque Alto	2.75
4 Quebrada El Palenque Bajo	1.80
5 Quebrada Las Lajitas	2.63
6 Quebradas de Oriente	2.94
7 Canal Aguas Servidas	1.50
8 Quebrada Las Flores Alto	1.87

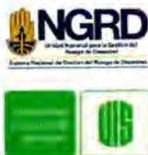
Fuente: Elaboración Propia

### 7.3.6. PROFUNDIDAD DE LA CUENCA

Es aquella comprendida entre el dosel de la cubierta vegetal, exteriormente y los estratos geológicos que delimitan la cuenca hacia abajo

### 7.3.7. Elevación o altitud de la cuenca

La Elevación, es uno de los factores físicos que facilita el análisis del movimiento del agua en una cuenca. Está directamente relacionada con la precipitación que cae sobre la superficie de la cuenca, y su temperatura.



### 7.3.7.1. Altitud media

La altitud media de la cuenca se toma como el promedio de altitud de todas las intersecciones. Se usa principalmente para cuencas extensas.

Se determina el área entre una curva de nivel y la siguiente. Luego se aplica la siguiente expresión:

$$E = \frac{\sum a+e}{A}$$

E: elevación media

a: área entre un par de curvas de nivel

e: altitud media (rango entre curvas de nivel)

A: área de la cuenca.

Para las ocho cuencas del área urbana, se tiene que todas se encuentran sobre los dos mil metros de altitud.

**Tabla 34.** Elevación Media de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	ELEVACIÓN MEDIA [m.s.n.m.]
1 Quebrada La Gachita	2113.2
2 Quebrada Las Flores Bajo	2110.2
3 Quebrada El Palenque Alto	2533.8
4 Quebrada El Palenque Bajo	2151.7
5 Quebrada Las Lajitas	2133.0
6 Quebradas de Oriente	1856.4
7 Canal Aguas Servidas	2005.4
8 Quebrada Las Flores Alto	2482.3

Fuente: Elaboración Propia



### 7.3.8. Pendiente de la cuenca

Se obtiene relacionando las diferentes alturas por donde pasa la corriente principal (curvas de nivel) con las distancias recorridas en metros entre cada intervalo. Para efectos prácticos se utiliza siempre la pendiente media.

Existen dos métodos:

1. Determinación de la pendiente del terreno

$$S = \frac{NZ}{1}$$

N: número total de curvas de nivel atravesadas por líneas en esa dirección

Z: Intervalo entre curvas de nivel

1: Longitud total de líneas en esa dirección

2. Mediante un mapa topográfico

$$P_m = \frac{D * L}{S}$$

D: longitud total de las curvas de nivel

L: distancia vertical entre curvas de nivel

S: área de la cuenca.

**Tabla 35.** Clasificación descriptiva de pendientes de la Zona Urbana del Municipio de Vélez.

PENDIENTES MEDIAS [%]	RELIEVE
0-3	Plano
3-7	Suave
7-12	Mediano
12-20	Accidentado
20-35	Fuerte
35-50	Muy fuerte
50-75	Escarpado
Mayor de 75	Muy escarpado

Fuente: HENAO, 2003



Para el área de estudio se tiene que:

**Tabla 36.** Pendiente media de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	PENDIENTE MEDIA [%]
1 Quebrada La Gachita	22.22
2 Quebrada Las Flores Bajo	24.65
3 Quebrada El Palenque Alto	29.15
4 Quebrada El Palenque Bajo	21.77
5 Quebrada Las Lajitas	23.62
6 Quebradas de Oriente	16.59
7 Canal Aguas Servidas	26.88
8 Quebrada Las Flores Alto	24.19

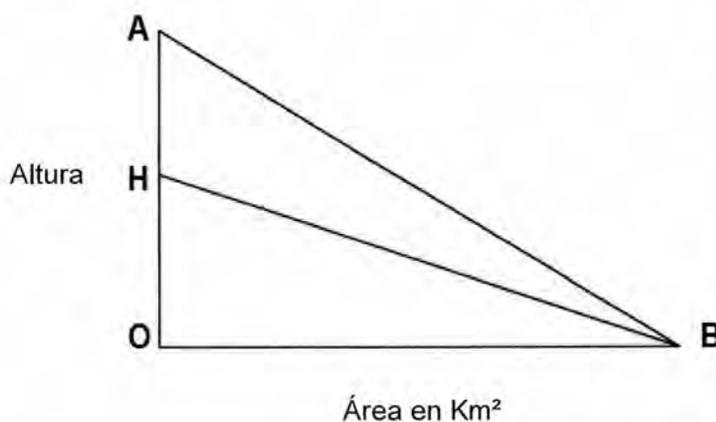
Fuente: Elaboración Propia

### 7.3.9. Relieve de la cuenca

#### 7.3.9.1. Coeficiente de masividad de martonne *cm*

Éste índice corresponde al cociente entre la altura media del relieve por su superficie proyectada.

**Figura 150.** Relieve de la cuenca.



Fuente HENAO, 2003



Para la zona de estudio se tiene que:

**Tabla 37.** Coeficiente de masividad de Martonne de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	COEFICIENTE DE MASIVIDAD DE MARTONNE <i>cm</i>
1 Quebrada La Gachita	0.000847
2 Quebrada Las Flores Bajo	0.001126
3 Quebrada El Palenque Alto	0.001958
4 Quebrada El Palenque Bajo	0.001028
5 Quebrada Las Lajitas	0.001844
6 Quebradas de Oriente	0.000682
7 Canal Aguas Servidas	0.003234
8 Quebrada Las Flores Alto	0.002469

Fuente: Elaboración Propia

### 7.3.9.2. Coeficiente orográfico *co*

Definido por la combinación que se efectúa entre la altura media de las cuencas y su coeficiente de Masividad.

**Tabla 38.** Coeficiente orográfico de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	COEFICIENTE OROGRÁFICO <i>co</i>
1 Quebrada La Gachita	1.79
2 Quebrada Las Flores Bajo	2.38
3 Quebrada El Palenque Alto	4.96
4 Quebrada El Palenque Bajo	2.21
5 Quebrada Las Lajitas	3.93
6 Quebradas de Oriente	1.27
7 Canal Aguas Servidas	6.49
8 Quebrada Las Flores Alto	6.13

Fuente: Elaboración Propia



### 7.3.9.3. Desnivel absoluto

Muestra éste indicador, la diferencia entre la cota máxima de la cuenca y su cota más baja.

**Tabla 39.** Desnivel absoluto de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	DESNIVEL ABSOLUTO [m]
1 Quebrada La Gachita	701.01
2 Quebrada Las Flores Bajo	724.83
3 Quebrada El Palenque Alto	547.39
4 Quebrada El Palenque Bajo	715.22
5 Quebrada Las Lajitas	493.22
6 Quebradas de Oriente	401.66
7 Canal Aguas Servidas	249.23
8 Quebrada Las Flores Alto	495.81

Fuente: Elaboración Propia

## 7.4. ANÁLISIS MORFOMÉTRICOS DE LA RED DE DRENAJE DE UNA CUENCA

### 7.4.1. Forma

Muestra la distribución o arreglo geométrico de los tributarios que integran la red hidrográfica.

### 7.4.2. Morfometría Hidrográfica

La Morfometría hidrográfica, estudia la disposición de los cauces de las corrientes fluviales y de las redes de drenaje, mediante índices numéricos que lo definen.

### 7.4.3. Sistemas de Drenaje

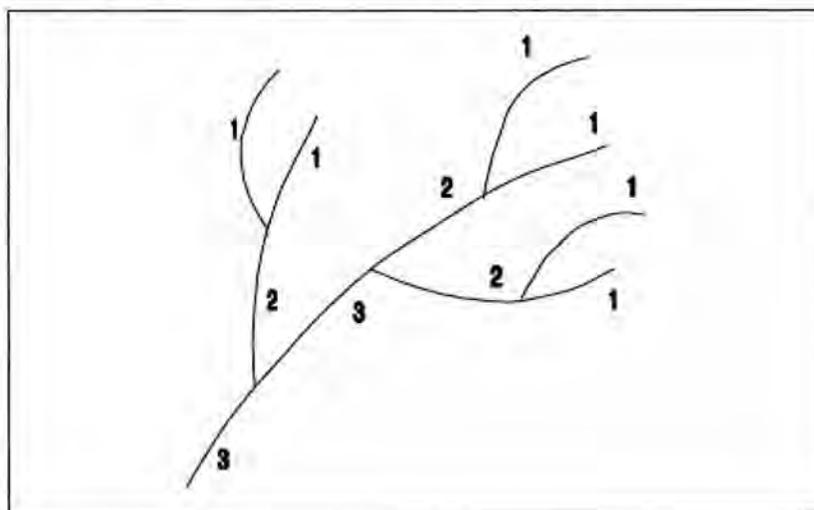
Schumm; Asigna el orden número 1, al escurrimiento menor, es decir, aquel que no pasa de ser tributario o *talweg elemental*, de igual análisis, la corriente de segundo orden se forma de la unión de dos afluentes de primer orden. A la confluencia de dos cursos de segundo orden, comienza un río de tercer orden, que puede, el mismo tener otros afluentes de segundo y tercer orden, etc. El río principal de la cuenca tiene el orden más elevado.



Horton, asigna el escurrimiento de primer orden aquel que carece de tributarios, el talweg de segundo orden correspondería al que recibe al menos uno, o varios tributarios de primer orden; talweg de tercer orden, se conforma cuando lo confluyen uno o varios afluentes de segundo orden, pero él puede recibir directamente afluentes de primer orden y así sucesivamente hasta ordenar la corriente principal de la cuenca considerada, que jerárquicamente posee el orden más elevado.

Para el área urbana de Vélez, el mayor Orden corresponde a 2, solo en la confluencia de las corrientes superficiales fuera del área de estudio Urbana, en la parte rural, el Orden asciende a 3.

**Figura 151.** Clasificación de los tributarios de una cuenca.



Fuente: Geomorfología de cuencas

### Ley de Horton del número de ríos

Definida por:

$$N = \frac{Rb * (S - 1)}{Rb - 1}$$

N: Número total de ríos  
rb: Relación de confluencias  
S: Orden talweg principal

Ley de longitudes medias de los ríos

$$rL = \frac{Lx}{Lx - 1}$$

Lx: Longitud media de los ríos de orden X  
rL: relación de su longitud

Tercera ley de Horton, cálculo de la densidad de drenaje:

$$Dd = \frac{Lx}{A}$$

Dd: densidad de drenaje  
A: área de la cuenca

Se tiene entonces que:

**Tabla 40.** Densidad de drenaje de las cuencas en la zona urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	DENSIDAD DE DRENAJE Dd
1 Quebrada La Gachita	0.00335
2 Quebrada Las Flores Bajo	0.00345
3 Quebrada El Palenque Alto	0.00413
4 Quebrada El Palenque Bajo	0.00322
5 Quebrada Las Lajitas	0.00298
6 Quebradas de Oriente	0.00387
7 Canal Aguas Servidas	0.00256
8 Quebrada Las Flores Alto	0.00550

Fuente: Elaboración Propia

Que también se pueden determinar de la siguiente forma.

$$Dd = \frac{L1 + L2 + \dots + Ls}{A}$$

L1: longitud media del primer orden.



### Frecuencias de Talwegs de una cuenca

Esta dada por la relación entre el número de ríos de un orden dado y el área de la cuenca. Se utiliza la siguiente fórmula, y se resumen en la tabla siguiente:

$$F_x = \frac{N_x}{A}$$

Nx: número de ríos de un orden dado

A: área de la cuenca

**Tabla 41.** Frecuencia de Talwegs de las cuencas en la zona urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	Frecuencia de Talwegs de orden 2
1 Quebrada La Gachita	0.00335
2 Quebrada Las Flores Bajo	0.00345
3 Quebrada El Palenque Alto	0.00413
4 Quebrada El Palenque Bajo	0.00322
5 Quebrada Las Lajitas	0.00298
6 Quebradas de Oriente	0.00387
7 Canal Aguas Servidas	0.00256
8 Quebrada Las Flores Alto	0.00550

Fuente: Elaboración Propia

Una vez analizados los parámetros morfológicos de la cuenca hidrográfica, se concluye que en el área de estudio, la generación de avenidas extraordinarias no se dará por la morfometría de las cuencas presentes en el sector, sin embargo se advierte, que la creciente modificación en el uso del suelo, su impermeabilización con asfalto y construcciones, pueden modificar esta condición en el corto plazo.



## 7.5. ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO DEL ÁREA URBANA DE VÉLEZ

### 7.5.1. Precipitaciones medias (mm/año)

De acuerdo con la información suministrada por el IDEAM para la estación meteorológica **La Granja**, ubicada en el casco urbano del municipio, se tiene los datos consignados en la siguiente tabla.

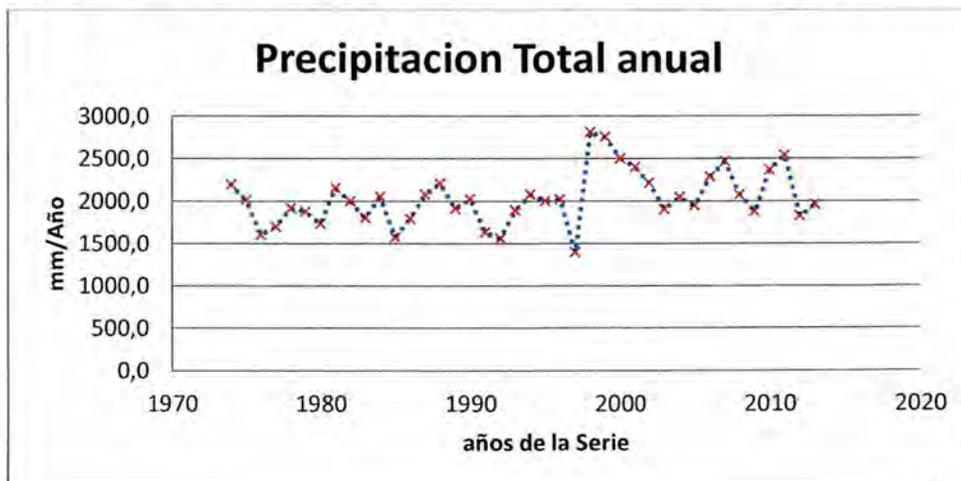
Tabla 42. Precipitaciones medias para la estación meteorológica La Granja.

AÑO	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
PPpt med anual	2190,7	2007,1	1599,9	1694,4	1915,5	1873,9	1728,1	2150,8	1996,4	1797,0
PPpt prom mens	182,6	167,3	133,3	141,2	159,6	156,2	144,0	179,2	166,4	149,8
AÑO	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
max anual	2049,6	1571,5	1788,0	2075,3	2203,7	1905,2	2018,3	1629,8	1556,5	1888,0
PPpt prom mens	170,8	131,0	149,0	172,9	183,6	158,8	168,2	135,8	129,7	157,3
AÑO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
max anual	2075,7	1996,1	2018,5	1392,2	2811,0	2752,0	2497,2	2394,5	2210,7	1900,2
PPpt prom mens	173,0	166,3	168,2	116,0	468,5	229,3	208,1	199,5	184,2	158,4
AÑO	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
max anual	2040,9	1942,5	2284,6	2461,6	2073,7	1874,2	2362,2	2535,5	1819,5	1952,6
PPpt prom mens	170,08	161,88	190,38	205,13	172,81	156,18	196,85	211,29	151,62	162,72

Fuente: IDEAM

Gráficamente se puede observar mejor la precipitación total acumulada anual para cada año de la serie.

Figura 152. Precipitación total acumulada de la estación meteorológica La Granja.



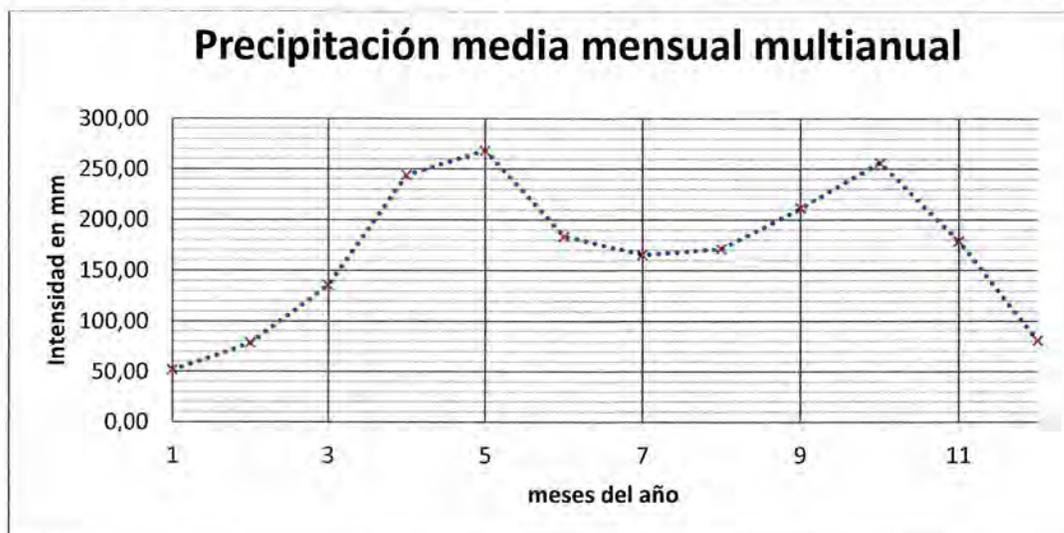
Fuente: Elaboración Propia

La serie de datos comprende el periodo desde 1974, hasta 2013.



Se puede observar un comportamiento de media mensual multi anual para la misma serie de datos en la siguiente gráfica, correspondiente a la zona urbana para el municipio de vélez (1974 a 2013) dicho comportamiento de precipitación para ese período, Precipitación acumulada media, se tiene en la siguiente gráfica.

**Figura 153.** Precipitación MEDIA MENSUAL de la zona urbana para el municipio de Vélez.



Fuente: Elaboración Propia

En forma general, las precipitaciones máximas se observan para la serie de datos que muestran un clima bi modal, en los meses de MAYO y OCTUBRE, siendo el primero el mes de mayor pluviosidad durante todo el año (10% mayor que el segundo).

Se observa que el área corresponde a una zona húmeda, con precipitaciones en promedio superiores a los dos mil 2000 mm./año (2096 mm/año), para una precipitación media del 175 mm/mes, aproximadamente. Sin embargo es de resaltar la magnitud de la precipitación registrada en el año de 1998, que supera al promedio anual para toda la zona en la serie de tiempo de 40 años de registro. Sin que sea como dato curioso, ninguno de los meses de éste año el de mayor pluviosidad en toda la serie.

Sin embargo, los datos registrados para las lluvias máximas, son muy diferentes a los valores medios como es de esperarse, pero a diferencia del resto del país, para los años 2009 y siguientes, las precipitaciones máximas no son las extraordinarias que se esperaban.

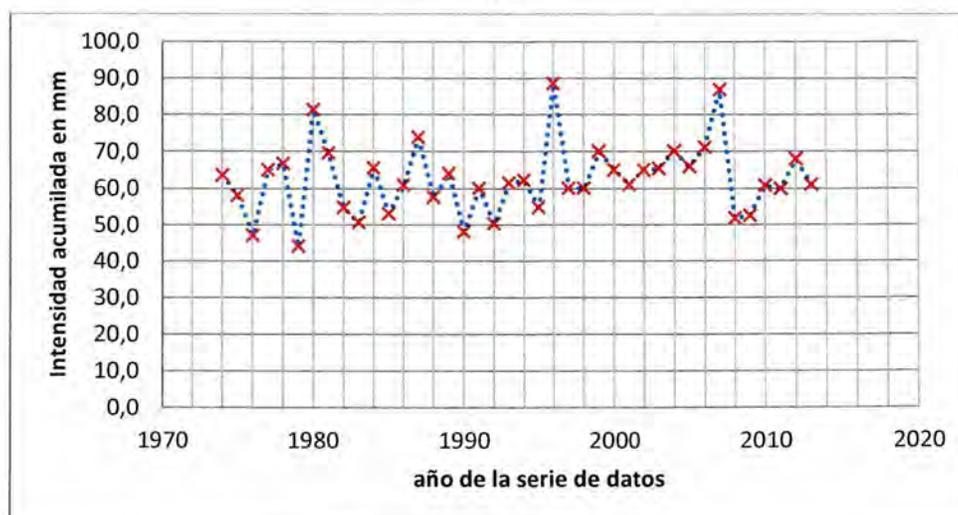
Tabla 43. Precipitación máxima anual para la estación meteorológica La Granja.

<b>AÑO</b>	<b>1974</b>	<b>1975</b>	<b>1976</b>	<b>1977</b>	<b>1978</b>	<b>1979</b>	<b>1980</b>	<b>1981</b>	<b>1982</b>	<b>1983</b>
<b>max anual</b>	63,6	58,0	47,0	65,0	66,7	44,0	81,3	69,5	54,7	50,6
<b>AÑO</b>	<b>1984</b>	<b>1985</b>	<b>1986</b>	<b>1987</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>
<b>max anual</b>	65,5	53,0	60,9	73,8	57,5	64,0	48,0	60,0	50,2	61,5
<b>AÑO</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>
<b>max anual</b>	62,2	54,7	88,5	60,0	60,0	70,0	65,0	61,0	65,0	65,3
<b>AÑO</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>max anual</b>	70,1	65,9	71,1	86,8	51,7	52,4	60,7	59,8	67,9	61,0

Fuente: IDEAM

La figura 154 muestra la distribución de los datos extremos en la serie de datos que se cuenta para el casco urbano del Municipio de Vélez Sder. Con un comportamiento normal para datos extremos. Aunque el año 1998, fue el mas lluvioso entre todos los años de la serie, se observa con claridad que es el año de 1996, donde se presentó la mayor lluvia acumulada en 24 Hrs entre toda la serie, mientras que para el año de 1998, el máximo diario se encuentra entre los valores promedio para lluvias extremas. Lo que nos muestra que en promedio, la lluvia máxima precipitada en 24 horas, en la zona de estudio, corresponde a un 50% de la lluvia total promedio caída acumulada en la misma zona para todo un mes, este fenómeno particular permite suponer que aunque se generen avenidas de especial cuidado y análisis, no se generarán avenidas extraordinarias en las corrientes superficiales que atraviesan el casco urbano causadas por lluvias de eventos máximos.

Figura 154. Lluvias máximas acumuladas en 24 horas de la zona urbana para el municipio de Vélez.



Fuente: Elaboración Propia



El estudio de la precipitación, interesa precisamente a la hidrología para la determinación de caudales máximos de avenida que puedan como es el caso causar o generar situaciones de contingencia por remoción de masas al socavarse las patas de los taludes rivereños. Se procede entonces a determinar el pronóstico de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno, y por diferentes métodos estadísticos, como se muestra en la siguiente tabla, en la que se consignan las precipitaciones calculadas por los diferentes métodos de valores extremos, como Gumbell tipo I, Pearson y Log Person Tipo III.

Es conveniente anotar que las predicciones se realizan par **Tr de 500 años** dadas las condiciones climatológicas presentadas en el país en los últimos años, en la que las lluvias extremas registradas superan con facilidad periodos de retorno de 100 años

**Tabla 44.** Predicción de la precipitación máxima en 24 horas para diferentes Tr.

Tr. en años	GUMBEL		LOG PEARSON TIPO III		PEARSON TIPO III	
	PREDICCIÓN	DESV. STND	PREDICCIÓN	DESV. STND	PREDICCIÓN	DESV. STND
500	104,6	7,65	98,11	9,88	100,04	10,76
200	97,8	6,60	93,2	7,77	94,8	8,63
100	92,6	5,80	89,2	6,30	90,6	7,08
50	87,4	5,00	85,2	4,99	86,3	5,62
25	82,2	4,20	81,0	3,84	81,7	4,30
10	75,1	3,15	75,0	2,65	75,3	2,87
5	69,5	2,37	69,9	2,04	69,9	2,17
3	65,0	1,81	65,6	1,75	65,3	1,90
2	61,0	1,43	61,4	1,59	61,1	1,74

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 44 se destaca que la desviación estándar para la distribución GEV, Gumbell tipo I para cada uno de los diferentes periodos de retorno, se ajusta más a los datos proyectados por las demás distribuciones de probabilidad, por lo que se asumen los datos generados por esta distribución, como los de diseño ( $i_{dis} = 104,6$  mm/día), adicionalmente, la magnitud de la lluvia proyectada para Tr 100 años, difiere apenas un 13% respecto de la magnitud esperada para un Tr de 500 años, y ésta presenta como las demás para dicha distribución, una desviación estándar cercana al 8 %, más que aceptable.

### 7.5.2. Distribución espacial de la precipitación

La estación La Granja, es la única estación presente en la zona de estudio (ubicada dentro del casco Urbano municipal), como se puede observar en los mapas correspondientes, por lo que es ella la responsable de la lluvia de diseño para nuestra zona de estudio urbana.



Tabla 45. Porcentaje de influencia de la estación La Granja.

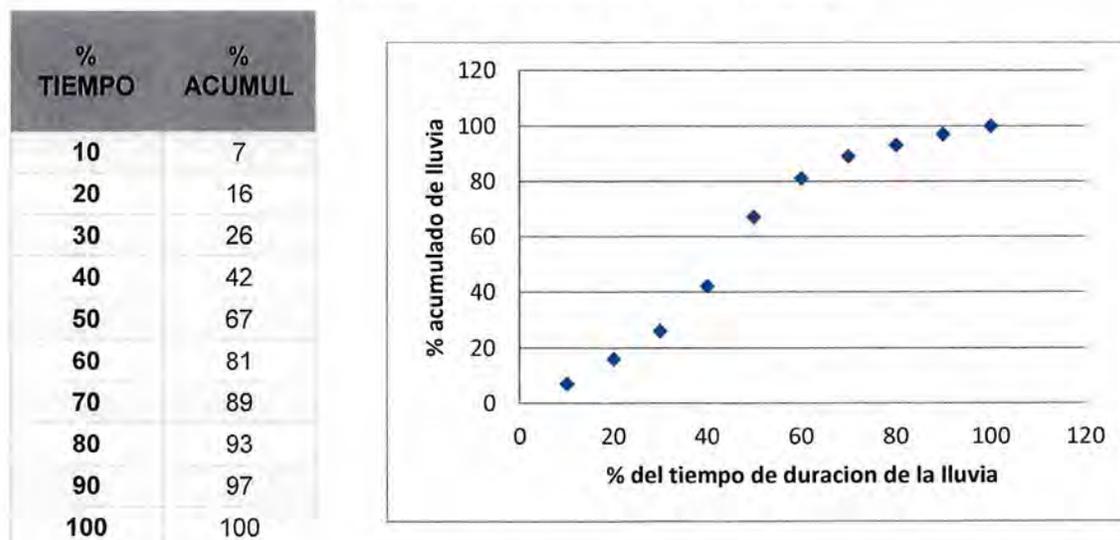
CUENCA SUPERFICIAL	% INFLUENCIA EST. LA GRANJA
1 Quebrada La Gachita	100%
2 Quebrada Las Flores Bajo	100%
3 Quebrada El Palenque Alto	100%
4 Quebrada El Palenque Bajo	100%
5 Quebrada Las Lajitas	100%
6 Quebradas de Oriente	100%
7 Canal Aguas Servidas	100%
8 Quebrada Las Flores Alto	100%

Fuente: Elaboración Propia

### 7.5.3. Distribución temporal de la lluvia

Para efectos de la distribución temporal, se considera que la lluvia de diseño (magnitud para 24 H) cae en diferentes tiempos (4, 5 y 6 horas de precipitación), distribuidos como se muestra en la siguiente figura.

Figura 155. Distribución temporal de la lluvia.



Fuente: Elaboración Propia

En los aspectos geotécnicos referentes a la remoción en masa, la distribución de la lluvia, tiene una gran importancia en la evaluación de la estabilidad del suelo, ya que los patrones



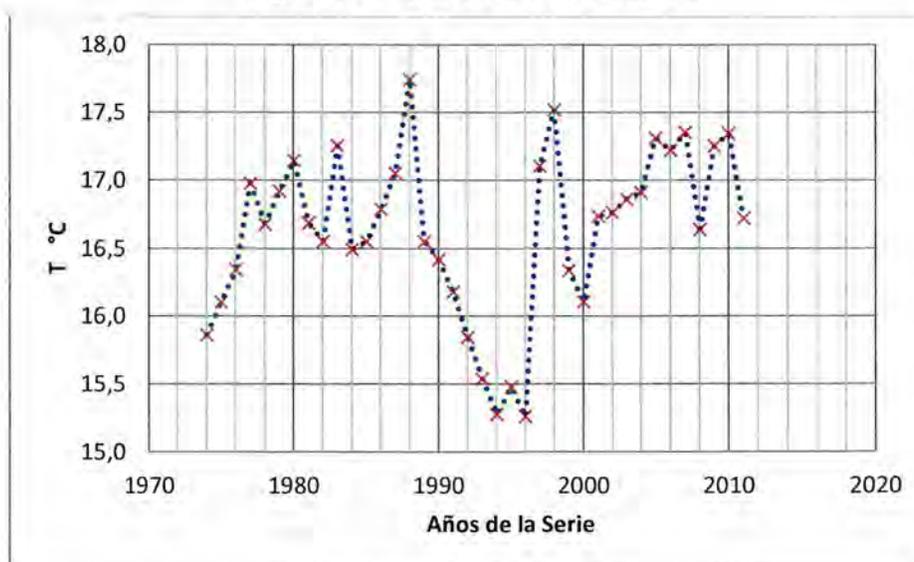
de *lluvias convectivas*, ocasionan una reacción distinta en las corrientes superficiales (generando avenidas torrenciales) respecto de las *precipitaciones orográficas* ya que en estas últimas la distribución de la lluvia es mucho mas uniforme en el tiempo, y de mayor duración que las primeras.

#### 7.5.4. Temperatura media anual

Siendo la estación La Granja, una estación meteorológica completa, cuenta con datos de temperatura, mostrados en la tabla siguiente.

El análisis de la temperatura media, nos muestra una magnitud de 16,6 °C como temperatura media anual, representativa de la serie de datos comprendida entre los años de 1974 y 2011, para dicha estación.

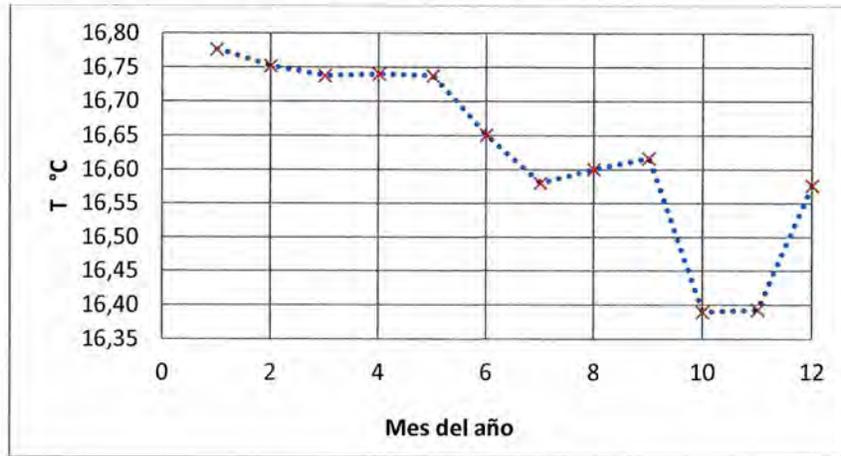
Figura 156. Temperatura media anual.



Fuente: Elaboración Propia

Al analizar la temperatura media mensual, claramente se observa un descenso de la temperatura durante el año, siendo los meses de **Octubre y Noviembre** los más fríos, y **enero** el mes más cálido para el casco urbano y su área perimetral de acuerdo al análisis de la temperatura mensual multianual para la mencionada serie, sin embargo es de aclarar que la magnitud no sufre cambios significativos entre el mes más cálido (Enero) y el más frío (Octubre Noviembre), apenas de 0,4 grados.

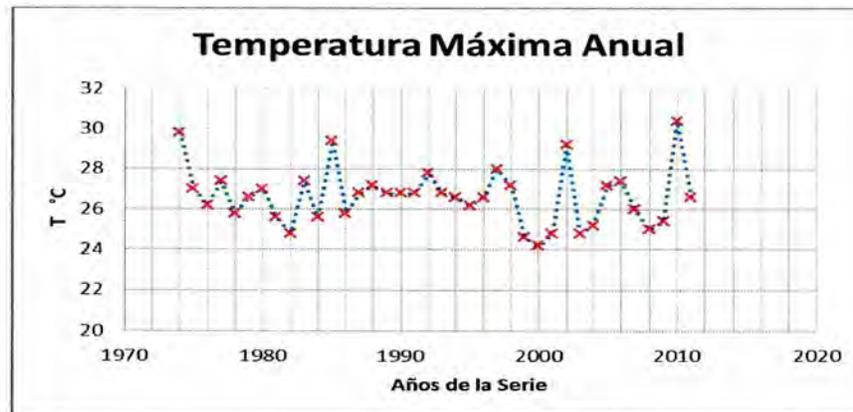
Figura 157. Temperatura media mensual multianual.



Fuente: Elaboración Propia

La temperatura máxima para la zona de estudio también se muestra en los datos suministrados por el IDEAM, para la estación La Granja.

Figura 158. Temperatura máxima anual para la estación La Granja.



Fuente: Elaboración Propia

El año 2010, presenta la máxima temperatura registrada en la serie, alcanzando una temperatura de **30,4 °C**, siendo el año de 1988 el año más cálido para la misma serie.

Mensualmente el comportamiento observado se ve en la tabla siguiente, y corresponde al comportamiento de valores extremos. Durante el mes de Agosto se registra la máxima temperatura.

Figura 159. Temperatura máxima mensual registrada para la estación La Granja.

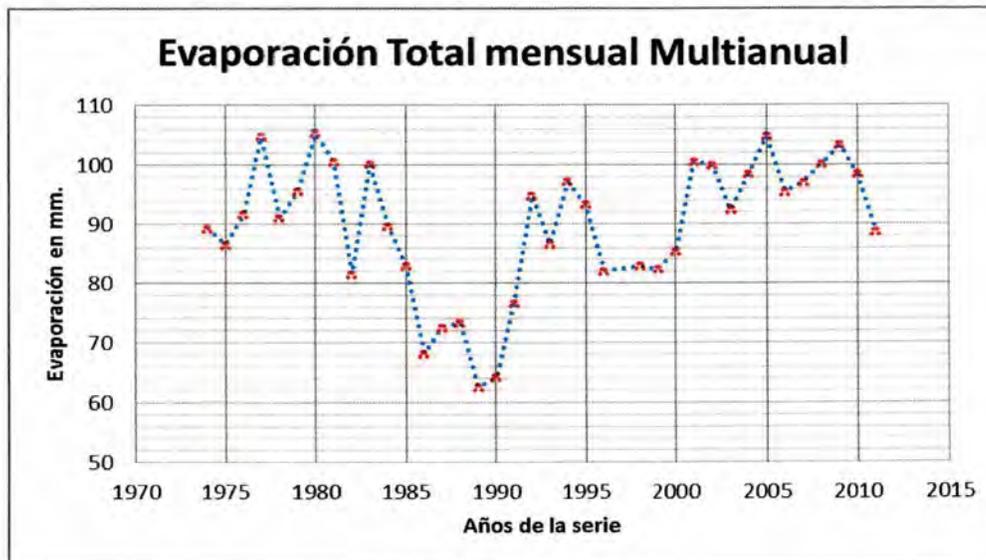


Fuente: Elaboración Propia

### 7.5.5. Evaporación

La estación La Granja, registra para una serie que comprende en periodos mensuales multi anuales, desde 1974 al año 2011, la evaporación mostrada en el gráfico.

Figura 160. Evaporación total mensual multianual para la estación La Granja.



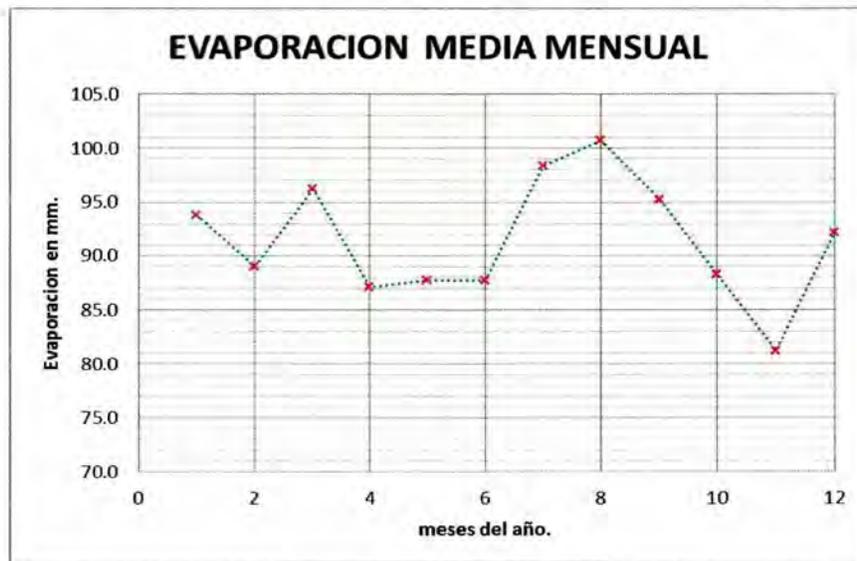
Fuente: Elaboración Propia



Se observa que para los años 1977, 1980 y 2005, se presentan las máximas evaporaciones registradas que superan los 105 mm/mes.

Como era de esperarse, para el mes de Agosto, en el que se presentan las máximas temperaturas, la evaporación media máxima también coincide igualmente para este mismo mes, a la vez que la mínima evaporación se registra en el mes de Noviembre, como se puede observar en la figura 161.

Figura 161. Evaporación media mensual para la estación La Granja.



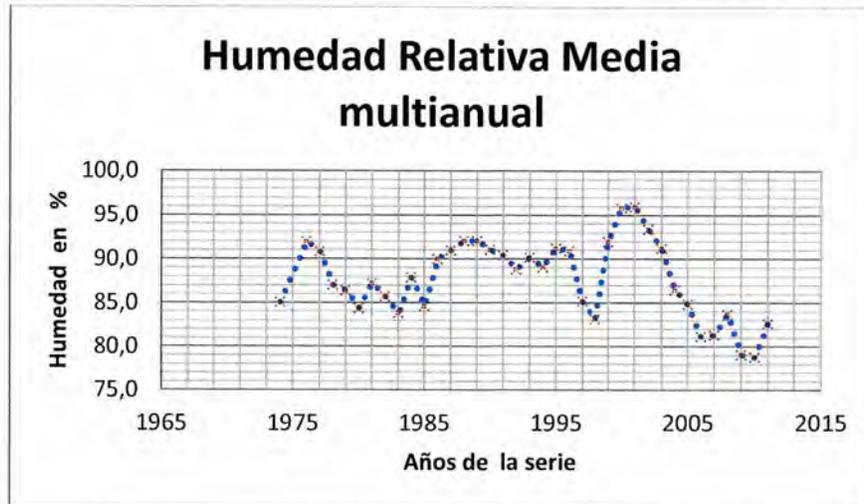
Fuente: Elaboración Propia

### 7.5.6. Humedad relativa

La humedad relativa, nos muestra que para el año de 1996 (año más lluvioso de la serie) corresponde la máxima humedad de 166,5% , y para el año siguiente (1997) el año más seco de la serie, de igual forma corresponde la mínima humedad registrada de 46.5%.



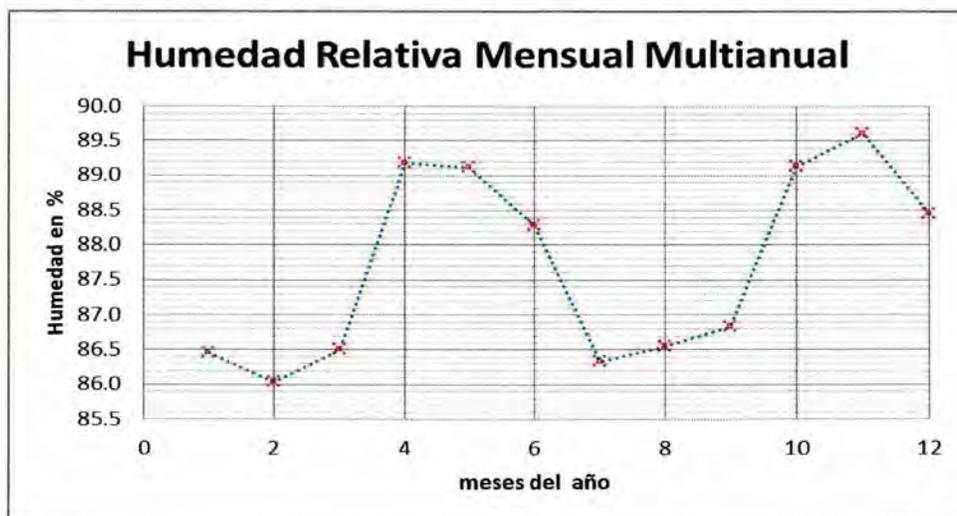
Figura 162. Humedad relativa media multianual para la estación La Granja.



Fuente: Elaboración Propia

Mensualmente, se observa para la serie, que la máxima humedad corresponde al mes de Noviembre con un 89.6% y la mínima al mes de febrero con un 86%. Confirmando la presencia de un clima bi modal para el casco urbano del municipio de Vélez, comprendido entre los meses de Enero a Marzo y de Julio a Septiembre para las épocas secas, y del mes de Abril a Junio y Octubre a Diciembre para la época de lluvias.

Figura 163. Humedad relativa mensual multianual para la estación La Granja.



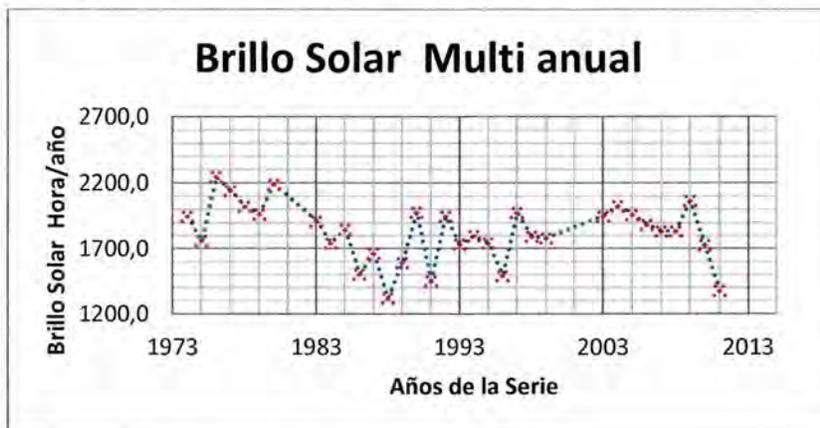
Fuente: Elaboración Propia



### 7.5.7. Brillo solar

Para El Brillo solar, se tiene que el año de 1976 presenta la mayor cantidad de horas de Brillo al año (2244,6 horas/año), mientras que para el año de 1988 año de máxima pluviosidad era de esperarse el mínimo valor de brillo solar (1318.8 horas/año).

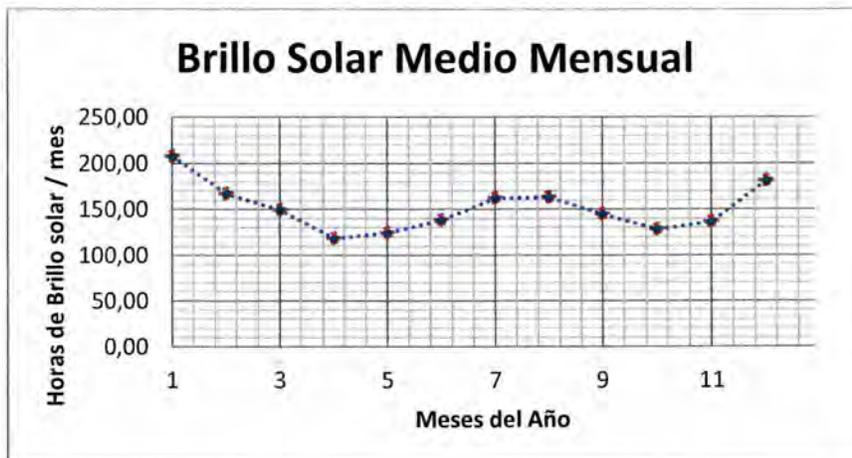
Figura 164. Brillo solar multianual para la estación La Granja.



Fuente: Elaboración Propia

Mensualmente se tiene que para la misma serie de datos (1974 al 2011), y corresponden a los meses de Enero (207 hora/mes), la máxima exposición solar, mientras que para el mes de Abril, se manifiesta la mínima exposición (118.1 hora/mes).

Figura 165. Brillo solar medio mensual para la estación La Granja.



Fuente: Elaboración Propia



### 7.5.8. Evapotranspiración

La evapotranspiración que agrupa la evaporación del agua a la exposición directa del sol más la transpiración de las plantas que de igual forma lanzan a la atmósfera agua en forma de vapor de agua, se puede determinar por diferentes métodos indirectos como lo son: **THORNTHWHITE** standard y corregido, **HARGREAVES** standard y simplificado, **JENSEN** y **HEISE** mes a mes y para el mes más seco, y por último las expresiones de **TURC** y **COUTAGNE** que estiman la evapotranspiración real, entre los más comunes.

Tabla 46. Cálculo de evapotranspiración potencial por diferentes autores

Método de Cálculo	Num días/mes	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL SEGUN DIF AUTORES												mm/año
		31	28.25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
	Unidades	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECEMBRE	TOTAL ANUAL
THORNTHWHITE (calculado)	mm/mes =	36.22	29.04	25.94	20.51	21.57	23.73	27.68	27.91	24.80	21.46	22.83	30.92	312.39
THORNTHWHITE (corregido)	mm/mes =	49.42	45.32	50.09	48.89	51.34	49.72	49.42	50.25	48.38	48.63	46.68	48.59	587.24
HARGREAVES	mm/mes =	156.53	136.36	158.76	154.76	163.25	154.40	158.65	172.63	152.96	157.89	142.33	136.43	1844.43
HARGREAVES SIMPLIFICADO	mm/mes =	165.27	143.97	167.10	163.41	172.37	163.04	167.54	182.30	161.52	166.77	150.33	144.08	1947.70
JENSEN y HEISE mes a mes	mm/mes =	130.34	116.40	116.65	97.95	100.30	99.45	110.94	114.09	105.73	98.56	95.46	110.79	1296.67
JENSEN y HEISE mes/mes	mm/mes =	111.62	103.92	100.48	117.04	130.34	116.29	117.39	101.74	103.12	103.48	118.12	119.32	1343.06
TURC	ETR <sub>real</sub> mm/año =	369.75												369.75
COUTAGNE	ETR <sub>real</sub> mm/año =	877.82												877.82
VAPORACIÓN EN ESTACION	mm/mes =	93.82	89.02	96.19	87.05	87.73	87.70	98.36	100.75	95.19	88.21	81.18	92.13	1097.35
PRECIPITACION MEDIA mensual	mm/mes =	51.32	78.20	135.28	243.62	267.95	183.06	165.03	170.61	210.68	255.45	178.29	80.41	2019.91
Diferencia PP - EV	mm/mes =	-42.51	-10.82	39.09	156.57	180.22	95.36	66.66	69.85	115.49	167.25	97.12	-11.72	922.56
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECEMBRE	

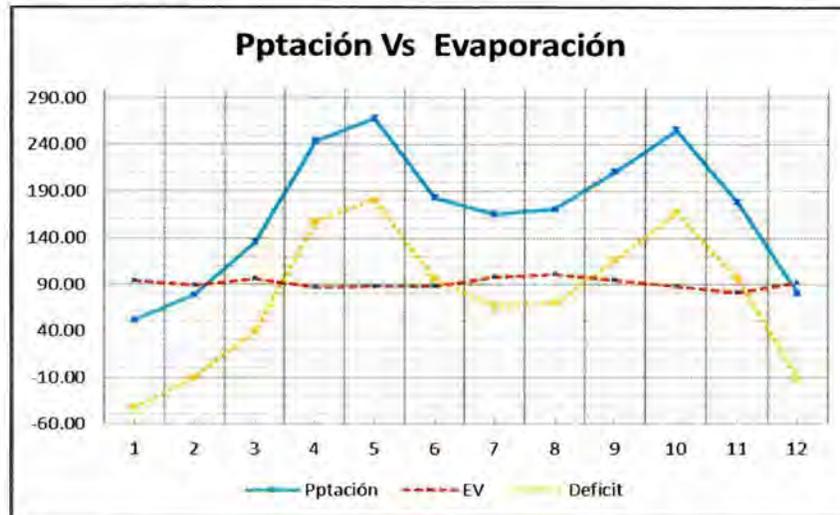
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla anterior, se muestra el cálculo de la evapotranspiración por los diferentes métodos mencionados en ella, por supuesto se observa que aquellos que más se acercan a la realidad del área de estudio, corresponden a los métodos de HARGREAVES standard y simplificado, JENSEN y HEISE mes a mes y para el mes más seco, que arrojan valores superiores a los registrados por la evaporación en el tanque evaporímetro de la estación La Granja, que es de 1017,2 mm/año.

Si se comparan la Precipitación mensual Vs la evapotranspiración en el mismo mes, y de igual forma para todos los meses del año, se tienen los períodos de déficit de humedad como se observa en la siguiente gráfica.

Los períodos de Déficit, corresponden a los meses de Diciembre y Enero, donde la Evaporación es mucho mayor que la precipitación, lo cual indica que para el resto del año, el agua precipitada se almacena en el suelo y alimenta a las aguas subterráneas, y escurre superficialmente hacia los drenajes naturales, manteniendo un exceso de humedad en el suelo, evento que no favorece en nada a la estabilidad por fenómenos de remoción en masa, ni a los problemas de deformación que se presenten en los suelos finos sobre los cuales está fundado el casco urbano municipal.

Figura 166. Comparación de Precipitación vs evaporación.



Fuente: Elaboración Propia

### 7.5.9. Balance hídrico de valores medios para la zona urbana y periferia del municipio de Vélez Santander

Los balances hídricos se convierten en uno de los principales objetivos en hidrología, son un medio para solucionar problemas hidrológicos de carácter teórico y práctico.

Mediante un estudio del balance hídrico es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones o variaciones por influencia de las actividades del hombre. El conocimiento de la estructura del balance hídrico de cuencas superficiales y cuencas subterráneas, es fundamental para conseguir el uso más racional de los recursos de agua en el espacio y en el tiempo, así como para mejorar el control y redistribución de los mismos, por ejemplo: trasvases de cuencas, control de máximas avenidas, etc.

Un balance hídrico puede visualizar la predicción de las consecuencias debidas a cambios artificiales en el régimen de aguas superficiales y cuencas subterráneas. La información que proporciona el balance hídrico de las cuencas de ríos y lagos para cortos períodos de tiempo (estaciones, meses, semanas y días) se utiliza y se utiliza con mucha frecuencia para predicciones hidrológicas.

Con la información de un balance hídrico es posible comparar recursos específicos del agua en un sistema en diferentes períodos de tiempo, y establecer el grado de su influencia en las variaciones del régimen natural.

Adicionalmente, un balance permite una evaluación indirecta de cualquier componente desconocido dentro de él, por simple diferencia entre los componentes conocidos; por



ejemplo, la evaporación a largo plazo, en una cuenca puede calcularse por diferencia entre la precipitación y el caudal.

La ecuación del balance hídrico, para cualquier zona o cuenca natural o cualquier masa de agua, indica los valores **relativos** de **entrada y salida de flujo** y la **variación del volumen** de agua almacenada en la zona de estudio, o masa de agua. En forma general, **las entradas** en la ecuación del balance comprenden la precipitación (**P**), en forma de lluvia para nuestro caso, realmente recibida en la superficie del suelo, y las aguas superficiales y subterráneas respectivamente, recibidas dentro de la cuenca o masa de agua desde fuera (**Q<sub>si</sub>** y **Q<sub>ui</sub>**). **Las salidas** en la ecuación incluyen la evaporación desde la superficie de la masa de agua (**E**) y la salida de corrientes de agua superficial y subterránea desde la cuenca o masa de agua considerada (**Q<sub>so</sub>** y **Q<sub>uo</sub>**). Cuando las entradas superan a las salidas el volumen de agua almacenada (**ΔS**) aumenta y cuando ocurre lo opuesto, disminuye. No se puede desconocer, que los componentes del balance hídrico están sujetos a errores de medida o de estimación, y la ecuación del balance deberá incluir, por tanto, un término residual o de diferencia (**υ**). Por tanto, el balance hídrico para cualquier masa de agua en cualquier intervalo de tiempo, en su forma más general, vendrá representado por la siguiente ecuación: (tomada, Métodos de cálculo del Balance Hídrico Guía Internacional de investigación y métodos, UNESCO 1981).

$$P + Q_{si} + Q_{ui} - E - Q_{so} - Q_{uo} - \Delta S - \upsilon = 0 \quad \text{Ecuación No 1}$$

Suponemos aquí que el régimen permanente se mantiene durante un periodo anual en el análisis de entradas y salidas de volúmenes en las aguas subterráneas, por lo que **Q<sub>ui</sub>** y **Q<sub>uo</sub>** anulan, o sencillamente son despreciables respecto a los demás términos, o sencillamente se considera que el intercambio de aguas subterráneas entre cuencas vecinas es nulo.

Para éste caso, las aportaciones de agua superficial desde otra cuenca **Q<sub>si</sub>** representan los volúmenes de agua de dotación para el servicio de agua municipal, que en promedio oscila entre 40 y 45 lts/seg. como transvase de otra cuenca, Equivalentes a  $1,34 \times 10^6 \text{ m}^3$  año aproximadamente, que expresado en lámina de agua para la cuenca de estudio de  $13,26 \text{ Km}^2$  se tiene que es de 97.2 mm /año, valor que se sumará a la descarga de las corrientes superficiales de la zona urbana para conformar el volumen de descarga superficial, con la letra **Q**.

Por lo que se podría simplificar la expresión anterior así:

$$P + Q_i - E - Q - \Delta S - \upsilon = 0 \quad \text{Ecuación No 2}$$

Donde **Q** representa la descarga de aguas superficiales en la cuenca de estudio.



Cuanto más pequeña es la superficie de una cuenca, más complicado es su balance, ya que es *más* difícil estimar componentes secundarios, tales como intercambio de aguas subterráneas con cuencas adyacentes, almacenamiento de agua, en lagos, embalses, pantanos y la dinámica del balance hídrico de bosques y zonas sujetas a regadío. El efecto de todos estos factores decrece gradualmente al aumentar el área de la cuenca y puede llegar a desprejarse. Para la zona urbana el área a contemplar alcanza los **13,6 Km<sup>2</sup>**, que es relativamente pequeña.

Para la serie de datos reportados por la estación meteorológica la Granja, se tienen muchos valores faltantes en cuanto a precipitación, por lo que se realiza el balance hídrico para valores medios mensuales multi anuales.

Teniendo la siguiente precipitación media acumulada expresada en mm/mes:

**Tabla 47.** Precipitación media acumulada en mm/mes para la estación meteorológica La Granja.

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
<b>P Pptac</b>	mm	51.32	78.20	135.28	243.62	267.95	183.06
<b>media mes</b>							
		Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>P Pptc</b>	mm	165.03	170.61	210.68	255.46	178.29	80.41
<b>media mes</b>							

Fuente: Elaboración Propia

Los valores para toda el área de estudio subdividida en ocho (08) micro cuencas muestran un escurrimiento mensual expresado en mm, como se da en la siguiente tabla 48.

Los caudales medios expresados en Lt/s, se muestran en lámina de agua expresada en mm.

**Tabla 48.** Caudales medios en Lt/s.

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
<b>Caudal medio de salida</b>	lt/s	141.14	254.47	521.02	1061.97	1185.80	756.60
<b>S escorrentía mes</b>	mm	26.9	48.5	99.3	202.4	226.0	144.2
		Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Caudal medio de salida</b>	lt/s	666.88	694.69	895.12	1120.74	733	264.4
<b>S escorrentía mes</b>	mm	127.1	132.4	170.6	213.6	139.7	50.4

Fuente: Elaboración Propia



Los valores medidos para la evaporación en la estación La Granja son:

**Tabla 49.** Evaporación media para la estación meteorológica La Granja.

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
<b>E evaporación</b>	mm	93.82	89.02	96.19	87.05	87.73	87.70
		Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>E evaporación</b>	mm	98.36	100.75	95.19	88.21	81.18	92.13

Fuente: Elaboración Propia

Sin embargo la evaporación está medida desde el tanque evaporímetro en la estación La Granja, Para calcular la evapotranspiración causada por la exposición a la radiación solar de la zona de estudio, se aplica el modelo de **Blaney y Criddle**, para una cobertura vegetal con superficie de suelo humedecida, como el caso de estudio. Para lo que se tiene:

**Tabla 50.** Evapotranspiración para la estación meteorológica La Granja.

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
<b>EVP evapotranspiración</b>	mm	54.09	43.44	38.84	30.72	32.30	35.76
		Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>EVP evapotranspiración</b>	mm	41.92	42.20	37.46	32.95	35.04	46.83

Fuente: Elaboración Propia

El balance hídrico para valores medios mensuales se muestra en la tabla 51 adjunta.

**Tabla 51.** Balance hídrico para valores medios mensuales.

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
<b>P Pptc media mes</b>	mm	51.32	78.20	135.28	243.62	267.95	183.06
<b>Qsi entrada acueducto</b>	mm	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>E evaporación</b>	mm	93.82	89.02	96.19	87.05	87.73	87.70
<b>EVP cultivos Braney-Criddle</b>	mm	54.09	43.44	38.84	30.72	32.30	35.76
<b>Q escorrentía superficial</b>	mm	26.90	48.50	99.30	202.40	226.00	144.20
<b>ΔS Almacenamiento o factor de ajuste</b>	mm	-19.68	-3.74	7.14	20.50	19.65	13.10
<b>sumas iguales</b>		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 52. Balance hídrico para valores medios mensuales (continuación).

		Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
<b>P</b>	<b>Pptc media mes</b>	mm	165.03	170.61	210.68	255.46	178.29	80.41
<b>Qsi</b>	<b>entrada acueducto</b>	mm	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>E</b>	<b>evaporación</b>	mm	98.36	100.75	95.19	88.21	81.18	92.13
<b>EVP</b>	<b>cultivos Braney y Criddle</b>	mm	41.92	42.20	37.46	32.95	35.04	46.83
<b>Q</b>	<b>escorrentía superficial</b>	mm	127.10	132.40	170.60	213.60	139.70	50.40
<b>ΔS</b>	<b>Almacenamiento</b>	mm	6.00	6.01	12.62	18.91	13.55	-6.82
<b>U</b>	<b>factor de ajuste</b>							
	<b>sumas iguales</b>		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia

En las tablas anteriores, se observa que por dificultad en la medición del volumen almacenado o la variación en éste volumen de agua en la cuenca de estudio, el factor de ajuste se computa conjuntamente con éste.

Se infiere de este balance, que para los meses secos (Diciembre a Febrero) el volumen almacenado aporta agua a la red de drenaje, mientras que para el resto del año, el volumen de agua almacenada aumenta. Este fenómeno muestra que 9 de 12 meses del año, el suelo para el área urbana de Vélez se mantiene húmedo, e incrementa este contenido de humedad en las épocas donde se intensifica el invierno (Abril Mayo y nuevamente en Octubre Noviembre).

Estadísticamente, los valores de las diferentes variables climatológicas que involucra el balance hídrico se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 53. Variables climatológicas del balance hídrico.

	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de Variación	Error típico relativo	Error típico	
<b>P</b>	<b>Pptc media mensual</b>	168.3	71.3	0.4237	0.1223	20.587
<b>Qsi</b>	<b>entrada acueducto</b>	10.0	0.0	0.0000	0.0000	0.000
<b>E</b>	<b>evaporación</b>	91.4	5.6	0.0613	0.0177	1.619
<b>EVP</b>	<b>cultivos Braney y Criddle</b>	39.3	6.8	0.1725	0.0498	1.956
<b>Q</b>	<b>escorrentía superficial</b>	131.8	66.0	0.5009	0.1446	19.053
<b>ΔS</b>	<b>Almacenamiento</b>	7.9	11.7	1.4802	0.4273	3.373

Fuente: Elaboración Propia



El error típico para la escorrentía y la Precipitación oscila en un valor cercano al 20%, mientras que para la evapotranspiración, evaporación y el almacenamiento, es inferior al 2% casi diez veces menor al anterior.

#### 7.5.10. Determinación de los caudales máximos de avenida para el área urbana de Vélez

Las precipitaciones máximas si se presentan en épocas de intenso invierno, generan por lo general las máximas avenidas en la red de drenaje, que socava general y localmente la rivera y el cauce de las corrientes superficiales, incrementando las probabilidades de movimientos en masa en las laderas aledañas al cauce

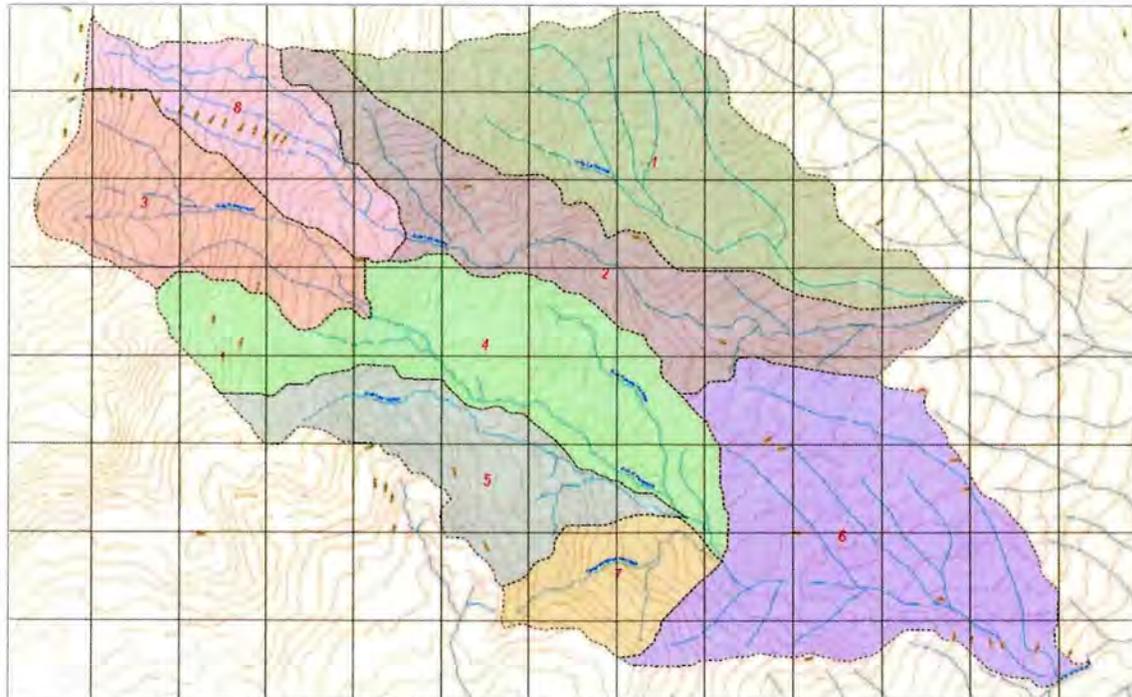
Para determinar los caudales pico (o caudales extremos) existen múltiples métodos, hidrológicos, analíticos, estadísticos, paramétricos e incluso empíricos. Para el área de estudio, con las particularidades climatológicas que posee, su uso y cobertura del suelo, y su régimen hidrológico particular, se considera conveniente el utilizar para la determinación de los caudales máximos de avenida, **Modelos Hidrológicos**, entre los que se encuentran para cuencas no aforadas el propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América. El método se basa en la estimación indirecta de la escorrentía a partir de una lluvia aislada, basado en las características del suelo, el uso del suelo, la cubierta vegetal, la morfometría de la cuenca y el comportamiento hidrológico de la misma a eventos de precipitación.

## 7.6. MODELO FÍSICO DE LA CUENCA

Para el área urbana se determinaron ocho (08) Unidades hidrológicas, como se muestra en el plano siguiente. Para cada cuenca se determinan su suelo, uso de suelo pendientes, red de drenaje y demás parámetros hidrológicos como se muestran al inicio del presente capítulo.

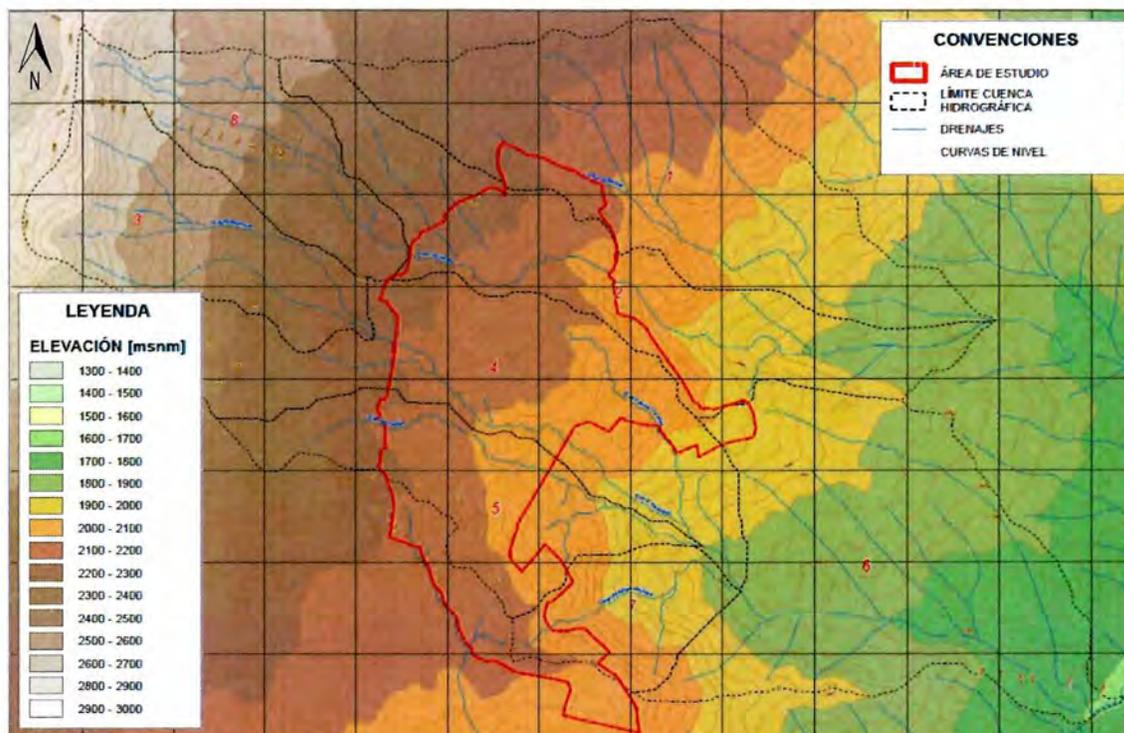
Para satisfacer los requerimientos hidrológicos (superficie de las Unidades hidrológicas), el área definida para las Unidades hidrológicas para la zona de estudio en la parte urbana, cubre mayor superficie que la zona urbana y su periferia definida en el EOT, como se observa en el plano anterior y siguiente (modelo digital de elevación para las Unidades hidrológicas urbanas) donde la línea roja punteada delimita la zona Urbana definida en el Esquema de Ordenamiento territorial y la línea negra punteada, delimita la periferia de la totalidad de las cuencas definidas para esa zona urbana.

Figura 167. Unidades hidrológicas determinadas (Plano U-12).



Fuente: Elaboración Propia

Figura 168. Modelo digital de elevación para las Unidades hidrológicas urbanas (Plano U-14).



Fuente: Elaboración Propia

### 7.6.1. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se define como el tiempo que tarda en llegar a la sección de control (o salida) la gota de lluvia caída en el extremo más alejado hidráulicamente de la cuenca, y se ha definido por diferentes expresiones experimentales.

Para la zona de estudio, se muestra en la siguiente tabla, el **T<sub>c</sub>**. Expresado en minutos, y calculado por diferentes autores y metodologías.

**Tabla 54.** Tiempo de concentración de las cuencas en la Zona Urbana del Municipio de Vélez.

CUENCA	T CONCENTRACIÓN [min]					
	Izzard	Kerbyes	Kirpich	Kinematic eq	Bransby will	FAAv eq
1 Quebrada La Gachita	57,3	57,9	17,3	92,1	57,2	56,9
2 Quebrada Las Flores Alto	44,4	77,3	25,0	107,3	93,6	59,2
3 Quebrada El Palenque Alto	30,8	45,1	11,5	13,2	38,9	37,2
4 Quebrada El Palenque Bajo	55,4	55,0	15,9	67,5	51,8	53,3
5 Quebrada Las Lajitas	44,1	49,1	14,6	70,6	50,5	56,1
6 Quebradas De Oriente	47,8	65,2	15,4	84,1	44,7	54,0
7 Canal Aguas Servidas	35,2	47,4	9,1	55,8	30,2	36,9
8 Quebrada Las Flores Bajo	45,3	55,1	10,4	93,6	33,0	40,5

Fuente: Elaboración Propia

Al calcular el  $T_c$  por diferentes métodos se obtienen como es de esperarse valores diferentes, asumiendo los calculados por **Kirpich**, como los más adecuados y cercanos a la realidad hidrológica del área de estudio.

### 7.6.2. Modelo meteorológico

La única estación meteorológica que tiene influencia Espacio temporal sobre la zona de estudio, corresponde a la Ubicada en la zona Urbana de Vélez, denominada La Granja. Para ella se obtuvo del IDEAM, la serie de datos correspondientes a las Lluvias máximas para una serie anual de datos desde 1974 al 2013.

Se observó en el capítulo referente a la precipitación, que la desviación standard para la distribución GEV, (distribución generalizada de valores extremos, por su siglas en inglés) Gumbell tipo I para cada uno de los diferentes períodos de retorno para ésta estación, se ajusta más a los datos proyectados por las demás distribuciones de probabilidad, por lo que se asume los datos generados por esta distribución, como los de diseño para la determinación de avenidas máximas, ( $i_{dis} = 104,6 \text{ mm/día}$ ), adicionalmente, la magnitud de la lluvia proyectada para  $T_r$  100 años, difiere apenas un 13% respecto de la magnitud esperada para un  $T_r$  de 500 años, y presenta como las demás para esta distribución, una desviación más que aceptable.

La distribución temporal de la lluvia para la magnitud proyectada  $T_r$  5000 años se muestra en la Tabla siguiente, distribuida para diferentes tiempos de precipitación.

**Tabla 55.** Distribucion temporal de la lluvia para la magnitud proyectada.

% TIEMPO	% ACUMUL	Vir Max PPt (mm)	duración 2.5 Hrs	duración 3.0 Hrs	duración 4.0 Hrs	duración 5.0 Hrs	duración 6.0 Hrs
		104.6	t min				
5	3.5	3.7	7.5	9	12	15	18
10	7	7.3	15	18	24	30	36
15	11.5	12.0	22.5	27	36	45	54
20	16	16.7	30	36	48	60	72
25	21	22.0	37.5	45	60	75	90
30	26	27.2	45	54	72	90	108
35	34	35.6	52.5	63	84	105	126
40	42	43.9	60	72	96	120	144
45	54.5	57.0	67.5	81	108	135	162
50	67	70.1	75	90	120	150	180
55	74	77.4	82.5	99	132	165	198
60	81	84.7	90	108	144	180	216
65	85	88.9	97.5	117	156	195	234
70	89	93.1	105	126	168	210	252
75	91	95.2	112.5	135	180	225	270
80	93	97.3	120	144	192	240	288
85	95	99.4	127.5	153	204	255	306
90	97	101.5	135	162	216	270	324
95	98.5	103.0	142.5	171	228	285	342
100	100	104.6	150	180	240	300	360

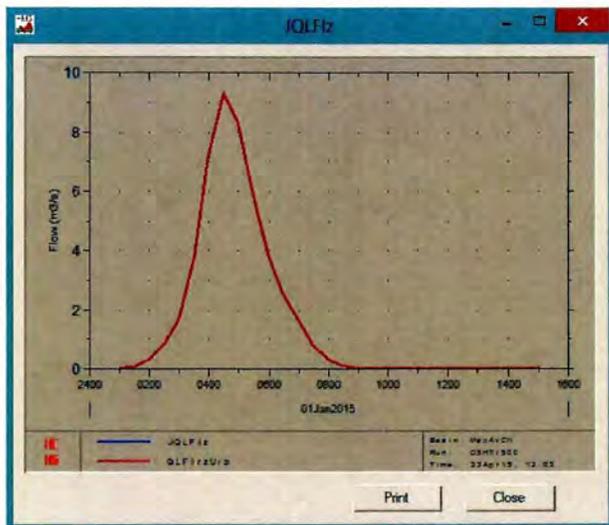
Fuente: Elaboración Propia

La lluvia reportada corresponde a la Precipitación Máxima acumulada en 24 Horas; por supuesto dicho evento no se presenta durante un día completo de lluvia, por lo que se considera que el tiempo de duración de la lluvia varía desde las 2,5 Horas de precipitación hasta las seis (06) horas de duración de la misma. Para el primer evento el resultado mostraría el máximo caudal pico pues al final la lámina de agua caída es la misma para todos los escenarios, pero el tiempo de aplicación es distinto para cada uno de ellos lo que mostrará que entre menor tiempo de lluvia, mayor será el caudal pico transportado por la corriente superficial.

La respuesta hidrológica de una cuenca de drenaje, se puede observar precisamente en dichos caudales y el tiempo de duración del drenaje del agua aportada por la precipitación.

En la siguiente figura, se muestra el caudal pico para una precipitación con Tr 500 años y una duración de la Lluvia de 6 Horas, para la **quebrada las Flores** en su parte alta, al confluir con el casco urbano del municipio de Vélez.

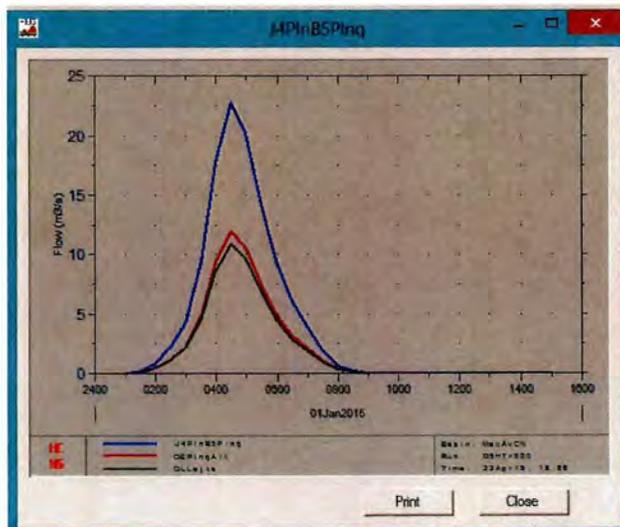
**Figura 169.** Hidrograma para la Quebrada Las Flores.



Fuente: Elaboración Propia

De igual forma se tienen hidrogramas de salida para la confluencia de dos corrientes superficiales como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 170.** Hidrograma para la confluencia de las quebradas Palenque Alto y las Lajitas



Fuente: Elaboración Propia



Al correr el modelo se tienen los resultados de caudales Pico mostrados en la tabla siguiente, aportados por el área drenada:

Tabla 56. Caudales picos aportados por el área drenada.

CUENCA	Q Pico Tr 500 Años Duración de la Lluvia 5 Horas [m <sup>3</sup> /s]
1 Quebrada La Gachita	30.5
8 Quebrada Las Flores Alto	12.1
2 Quebrada Las Flores Bajo	21.6
3 Quebrada El Palenque Alto	15.4
4 Quebrada El Palenque Bajo	25.4
5 Quebrada Las Lajitas	14.1
6 Quebradas de Oriente	36.4
7 Canal aguas servidas	7.7

Fuente: Elaboración Propia

Pero dichos caudales confluyen en la red de drenaje casi a la vez por el tamaño tan pequeño de las cuencas (o unidades hidrológicas), y las condiciones hidráulicas del drenaje, incrementando los caudales a transportar por ella, como se muestra en la siguiente tabla 57.

Tabla 57. Caudales transportados por cada corriente superficial.

Corriente Superficial	Q Pico Tr 500 Años Duración de la Lluvia 5 Horas [m <sup>3</sup> /s]
Quebrada Las Flores drenaje Parte Alta *	9.3
Quebrada Las Flores drenaje Parte Media **	9.3
Quebrada Las Flores drenaje Parte baja ***	53.1
Quebrada el Palenque drenaje Parte Alta *	15.4
Quebrada el Palenque drenaje Parte media **	22.7
Quebrada el Palenque drenaje Salida *	35.8
Quebrada el Palenque drenaje Parte baja ***	42.3
Quebrada Las Lajitas drenaje Parte Alta *	14.1

\* Drena la cuenca alta hasta encontrar el casco Urbano.

\*\* Drena el área urbana correspondiente al casco urbano.

\*\*\*Drena la parte baja aguas abajo del casco Urbano.

Fuente: Elaboración Propia

El análisis hidrológico muestra las posibilidades de Ordenamiento que puede sufrir una cuenca al **modificar su uso de suelo**, tendiendo siempre a mantener una respuesta hidrológica adecuada, esto es, con caudales PICO de baja magnitud y duración prolongada de la avenida, como debiera comportarse una cuenca ambientalmente conservada y en equilibrio.

## 7.7. AGUAS SUBTERRÁNEAS BAJO EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ SANTANDER

En forma general, el agua subterránea fluye a través del medio poroso obedeciendo la Ley empírica propuesta por Henry Darcy, siempre y cuando las condiciones de flujo hidráulico no sobre pasen el límite del flujo Laminar, es decir, siempre que las velocidades de desplazamiento del agua sea en extremo lentas, o en su defecto, que el número de Reynolds sea pequeño, éste fenómeno natural se observa en rocas, suelos y en general en medios porosos.

**Figura 171.** Aguas subterráneas bajo el casco urbano de Vélez.



Fuente: Elaboración Propia

Otra cosa diferente se observa en aquellas rocas cuya porosidad secundaria las constituyen en acuíferos, o en unidades Hidrogeológicas (dentro de una Unidad pueden haber uno o varios mantos acuíferos, o acuitardos como en este caso, o acuícludos, conectados entre sí de tal modo que su funcionamiento hidráulico, entradas y salidas obliga a estudiarlo en conjunto).

En los mantos porosos, solamente existe un tipo de flujo o régimen del fluido, mientras en los mantos fracturados si son adicionalmente porosos, deben existir dos tipo de flujo, uno a través de la matriz porosa, y el otro a través de las fracturas. Este es el caso de la unidad hidrogeológica que infra yace al casco urbano del municipio de Vélez, compuesta por rocas lodosas altamente fracturada en algunos sectores, y fisilizada en afloramientos expuestos por supuesto a las inclemencias del clima sobre todo a ciclos de Secado-humedecimiento, que permite que como respuesta a la presión que consolidó el sedimento para convertirlo en roca, se esponje en una serie de láminas a través de las cuales el líquido fluye, sin embargo, las profundidades de meteorización son relativamente superficiales, y que hasta cierto punto cuando los caudales de bombeo son muy pequeños, se podrían considerar como mantos porosos.



Los parámetros más importantes al analizar el flujo en macizos rocosos fracturados de matriz fina, corresponden a la permeabilidad y la presión intersticial, y está controlado por la intensidad de fracturación, y la interconexión de las discontinuidades (diaclasamiento). La presencia de varias familias de juntas o diaclasas, o de cualquier otro tipo de discontinuidad como fallas, meteorización, planos de alteración etc, suponen un comportamiento Anisotrópico del sistema.

Para determinar éstas propiedades se realizan dos campañas diferentes; la primera consiste en realizar ensayos de Bombeo en pozos de gran diámetro encontrados en el casco urbano municipal, y una segunda campaña realizada para determinar dichas propiedades *in situ* denominada **Slug Test**, como se explican en los siguientes acápite.

### 7.8. INTERPRETACIÓN DE ENSAYOS DE BOMBEO EN POZOS DE GRAN DIÁMETRO EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ SANTANDER

El presente Documento, muestra los resultados e interpretación de tres ensayos de bombeo realizado a igual número de Pozos artesanales ubicados dentro del casco Urbano del Municipio de Vélez (Santander), ensayo realizado para determinar las propiedades hidráulicas del subsuelo urbano, durante una hora aproximadamente de bombeo continuo a razón de **Caudales Constante pequeños (< 0.3 lps)** y que captan éstas estructuras artesanales construidas sin técnica adecuada para la explotación de pozos sobre la Unidad hidrogeológica que infra yace el casco Urbano, conformada por una capa de suelos fino (limo arcilloso o arcilloso) de espesores variables y rocas lodosas fracturadas (Lutitas y limolitas de la formación Paja). Estas estructuras de explotación son:

1. Perforación Artesanal Manual de gran diámetro, 1,45m. con una Profundidad de 1,7 mt. Y una tabla de agua de 1,20m. Ubicado en la Calle 10 No 1- 41. Recubierto en cantos angulares, Al cual se denominará en adelante Pozo 1.
2. Pozo adosado a la terraza de cimentación de la vivienda ubicada en la Calle 13 No 6-30 en el barrio la esperanza, de ancho 0,93 por 1,10 mt de largo, cuya pared occidental corresponde al afloramiento de la roca fisilizada, En adelante Pozo No 2.
3. Pozo construido en muros de ladrillo frisado, de forma rectangular con medidas internas de ancho 0,7 m por 1,0 m. en el Barrio la esperanza, recubierto totalmente, ubicada en la Cra 6 No 13-A impar casa No 8, en Adelante Pozo No 3.

Los ensayos se realizaron con una electrobomba, monitoreando regularmente al caudal bombeado.

Las siguientes gáficas muestran los detalles e cada uno de los pozos anteriormente mostrados, el monitoreo de los abatimientos se realiza mediante el uso de Micro Divers y Baro Divers y el software DIVER OFICCE, para la programación de los dispositivos y la captura y compensación de datos de campo.

En Colombia, y especialmente en la zona rural, la gran mayoría de los pozos son excavados manualmente de forma artesanal. Estos pozos al ser de gran diámetro, almacenan una considerable cantidad de agua dentro de sí, afectando el análisis de la prueba de bombeo, por asumir las metodologías convencionales en Bombeos de Ensayo que **“el pozo no almacena agua dentro de él”**, contra viniendo la condición necesaria para un ensayo de bombeo, **en el que la Bomba produce descensos inmediatos del Nivel del Agua en el Pozo, una vez se enciende”**.

Figura 172. Fotografías de cada pozo.

Pozo No 1



Pozo No 2.



Pozo No 3.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 173. Detalles internos y externos de los pozos de gran diámetro encontrados dentro del casco urbano.



Fuente: Elaboración Propia



Los datos necesarios para la interpretación del ensayo de bombeo, Para Pozo de Gran diámetro, son los mostrados en la tabla 58 en donde se muestran dimensiones equivalentes.

**Tabla 58.** Datos Geométricos equivalentes de campo correspondientes a cada pozo.

PARAMETRO	POZO 1	POZO 2	POZO 3
D libre Prom (m)=			
H libre Prom (m)=			
$r_a$ (m) =	0.725	1.140	0.940
$r_e$ (m) =	0.850	1.140	0.940
$r_p$ (m) =	0.975	1.210	1.180
$r_w$ (m) =	0.915	1.176	1.067
$r_c$ (m) =	0.859	1.176	1.067

Fuente: Elaboración propia

De donde:

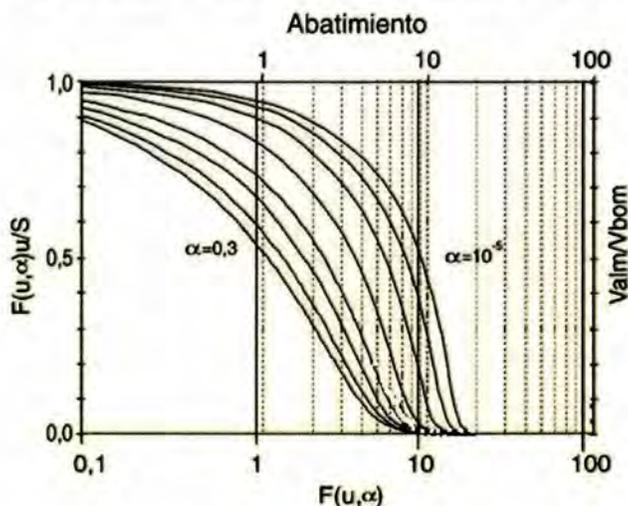
- $r_p$  (m). = Radio de Perforación.
- $r_e$  (m) = Radio de la rejilla.
- $r_a$  (m) = Radio del ademe coincidente con el nivel del agua.
- $r_w$  (m) = Radio efectivo de la rejilla si se encuentra con empaquetamiento de grava (media geométrica).
- $r_c$  (m). = Radio efectivo de almacenamiento. (Como la media geométrica).

Existe un método para analizar pruebas de bombeo en pozos de gran diámetro propuesto por Cooper y Papadopoulos (Kruseman & De Rider, 1994), que para aplicarlo con éxito, requiere un bombeo continuo durante largo tiempo, algunas veces hasta días, lo que es improductivo en una campaña de recolección de datos.

Para éste estudio, se aplica una metodología diferente a la mencionada, propuesta por Schosinsky G. en el 2002 que permite analizar un Ensayo de bombeo de corta duración (de una a dos horas, como se muestra en la cartera de campo) en pozos de gran diámetro, para obtener los parámetros Hidráulicos del acuífero. Con lo cual se disminuye el tiempo y costo de la recolección de datos. Schosinsky desarrolla un modelo de pozos de gran diámetro, utilizando celdas de anillos concéntricos, en que se pudiese variar el espesor de cada uno de ellos, llegando a espesores de 5 cm en los anillos cercanos al pozo. Reproduciendo pruebas de bombeo con el modelo, se obtienen funciones con las que se construyeron curvas de campo que se comparan con curvas patrón ajustadas estadísticamente, que permiten un análisis de mayor precisión de las pruebas de bombeo, donde el almacenamiento de agua dentro del ademe de los pozos, influye en los abatimientos registrados en un ensayo de bombeo, midiéndolos dentro del pozo.

Las curvas patrón propuestas para ensayos de Bombeo en pozos de gran diámetro, se muestran en la figura 174.

Figura 174. Curva Patrón para ensayos de Bombeo en Pozos de Gran diámetro.



Fuente: Elaboración propia

Los datos de campo se grafican y se sobrepone en la curva patrón como se muestra a continuación (datos para el Pozo No 2).

Tabla 59. Datos del bombeo para el Pozo número 2.

Datos del bombeo para el Pozo Numero 2					
tiempo min	tiem Bomb min	Vol Almac	Vol Alm / Vol Bom	Abatimto m.	Vol Alm / Vol Bom
50	0	0.6650		0.0000	0
55	5	0.6291	0.0187	0.0450	0.01870
60	10	0.5933	0.0089	0.0900	0.00890
65	15	0.5575	0.0056	0.1350	0.00563
70	20	0.5217	0.0040	0.1700	0.00399
75	25	0.4859	0.0030	0.2050	0.00297
80	30	0.4501	0.0023	0.2330	0.00231
85	35	0.4143	0.0018	0.2550	0.00182
90	40	0.3785	0.0015	0.3000	0.00146
95	45	0.3427	0.0012	0.2950	0.00117
100	50	0.3069	0.0009	0.3600	0.00095
105	55	0.2711	0.0008	0.3850	0.00076
110	60	0.2353	0.0006	0.4200	0.00060
115	65	0.1995	0.0005	0.4450	0.00047
120	70	0.1637	0.0004	0.5000	0.00036
125	75	0.1279	0.0003	0.5250	0.00026
130	80	0.0921	0.0002	0.5600	0.00018

Fuente: Elaboración propia



Una vez graficados los datos de campo a la misma escala del gráfico patrón, se tiene una curva de ajuste que los representa (en rojo), con un ajuste aceptable como se puede observar.

Se procede a sobreponer los datos de campo sobre la gráfica patrón, hasta lograr el mejor de los ajustes, como se muestra en la figura 175.

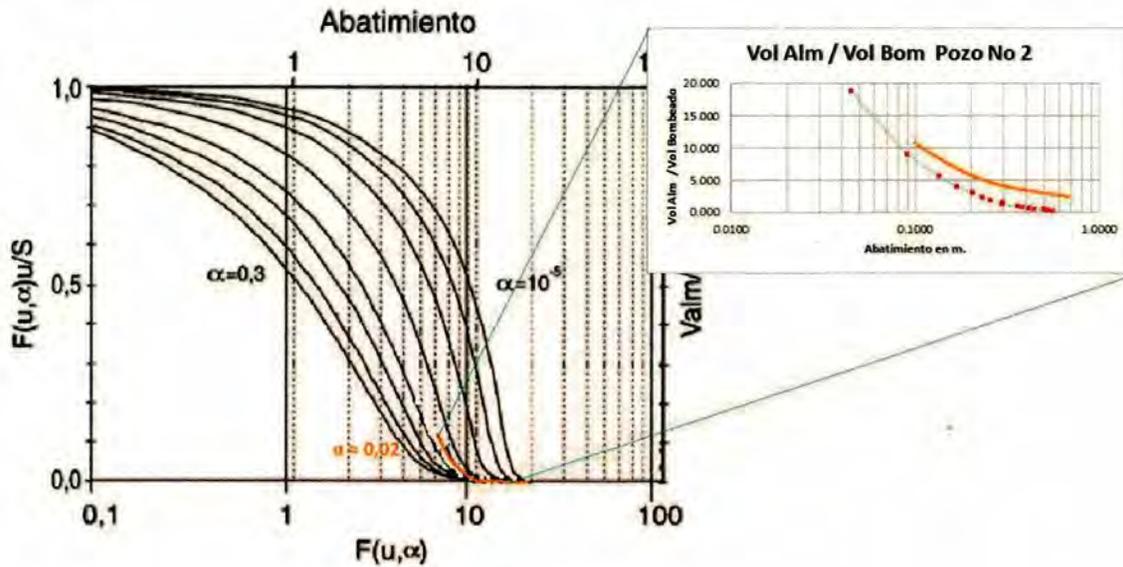
Se observa que el ajuste es casi perfecto para una curva de magnitud  $\alpha = 0,02$  de donde:

$$S = \frac{\alpha r_c^2}{r_w^2}$$

Ecuación Propuesta por Schosinsky. Para el cálculo del Coeficiente S

Siendo S el coeficiente de almacenamiento; de una magnitud  $10^{-2}$  ( $S = 0.02$ )

Figura 175. Superposición de los datos de campo con la curva Patrón.



Fuente: Elaboración propia



### 7.8.1. Procesamiento de la información y determinación de resultados

Procediendo al cálculo, se determina el Coeficiente de Almacenamiento  $S = 0,020$  típico para cuerpos arenosos de matriz fina.

Los suelos arcillosos y miembros finos si se pudiesen tratar como cuerpos acuíferos, mostrarían coeficientes de almacenamiento en extremo bajos del orden de  $10^{-4}$ , sin embargo aquí muestran valores muy similares a los acuíferos arenosos de matriz muy fina, dado posiblemente al grado de diaclasamiento de la roca base (lodos altamente fracturados, y su excesiva característica fisil, que hace que la roca expuesta a la atmosfera (ciclos de secado- humedecido) se fracture en láminas (generalmente en dirección paralela a los planos de sedimentación o estratificación), aumentando su porosidad secundaria de una manera considerable. Ésta Fisilidad solo se expresa en superficies rocosas expuestas al ciclo de secado- humedecido, y no a profundidad como se pudo ver en los núcleos extraídos en los sondeos geotécnicos; esta propiedad podrá aprovecharse para el drenaje de aguas subterráneas, en la propuesta de filtros en Zanja y trincheras para el desecado del cuerpo Limo-arcillosos superficial si se toman como alternativa.

De igual Forma la TRANSMISIVIDAD, expresada en  $m^2/día$ , se determina mediante la expresión propuesta por el mismo Autor:

$$T = \frac{F(u; \alpha) Q}{4 \pi s}$$

Dónde, tomando para un abatimiento de  $s = 0,4$  que se superpone en la gráfica patrón con un  $F(u, \alpha)$  de 7,0.

- T [ $m^2/día$ ]= Transmisibilidad
- s [m]= Abatimiento del punto seleccionado
- F(u;α) = Función de pozo del punto seleccionado
- Q [ $m^3/día$ ]= Caudal de bombeo

Para lo cual

$$T = 13,8 \text{ m}^2 / \text{día.} \text{ (1,60 cm}^2 / \text{s).$$

Lo cual permite Observar que la conductividad Hidráulica  $K$  expresada en  $m/día$  es teniendo en cuenta el espesor perforado del sistema acuífero (de  $H = 6,0 \text{ m.} = B$ )

$K = T/B$  en  $m/día$ . De donde:

$$K = 2,3 \text{ m/día.} = (2,66 \times 10^{-3} \text{ cm/s})$$

Ésta propiedad nuevamente, permite el diseño de filtros y drenajes si se llegaran a requerir.



Los datos para los tres pozos se resumen en la 0.

Tabla 60. Resultados para Pozos de gran diámetro.

PARAMETRO	POZO 1	POZO 2	POZO 3
Q caudal (m <sup>3</sup> /día)=	27.65	9.94	10.65
$\alpha$ =	0.03	0.02	0.02
S COEF ALMACENMTO=	0.0265	0.0200	0.0200
F( u; $\alpha$ ) =	6.00	7.00	6.00
T (m <sup>2</sup> /día) =	33.0	13.8	12.7
K (m/día)=	11.0	2.8	2.8

Fuente: Elaboración Propia

Durante el ensayo de bombeo se pudo observar algunos aspectos dignos de resaltar y tener en cuenta, como son:

- La construcción del pozo es bastante peculiar, (parte artesanal de gran diámetro, excavada a mano y recubierto con muro de cantos o ladrillo, con poros o aberturas que permiten el ingreso del agua Subterránea dentro del cuerpo del pozo).
- La Unidad Hidrogeológica (dado que está conformada por rocas lodosas y suelos finos limo arcillosos) que infra yace el casco urbano del municipio de Vélez Sder, muestra un comportamiento CONFINADO, afectado por una fracturamiento natural de la roca lodosa, de tal modo que modifica en DOS ÓRDENES de magnitud el coeficiente de Almacenamiento "S, T y K".
- Los parámetros hidráulicos determinados mediante el Ensayo o Prueba de Bombeo, (K, S y T) muestran un comportamiento normal y acorde con materiales similares o equivalentes del tipo arenoso de matriz fina.

### 7.8.2. Ensayos tipo Slug Test para determinación de la permeabilidad in situ

Adicionalmente para determinar en forma general las propiedades hidráulicas de la unidad hidrológica que infra yace el casco urbano, se planificó una campaña para determinarlas in situ, conocida como ensayos de **Slug Test**. Éstos ensayos consisten en elevar los niveles piezométricos de forma instantánea y monitorear en el tiempo la recuperación del mismo, introduciendo una masa dentro de un piezómetro, o dentro de los sondeos geotécnicos previamente hechos, y que se entubaron para tal fin.

Los niveles de igual forma, se capturan mediante el uso de mini Divers sensibles a la décima de milímetro, y se compensan eliminando la presión barométrica capturada simultáneamente con un Baro Diver, al igual que el capítulo anterior (pozos de gran diámetro). Se construyó un dispositivo en el cual el Diver va acomodado en la parte inferior de la Barra (Slug) con la cual se elevan los niveles.

**Figura 176.** Piezómetros para el monitoreo de aguas subterráneas.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 177.** Dispositivo construido para el slug test y Baro Diver.

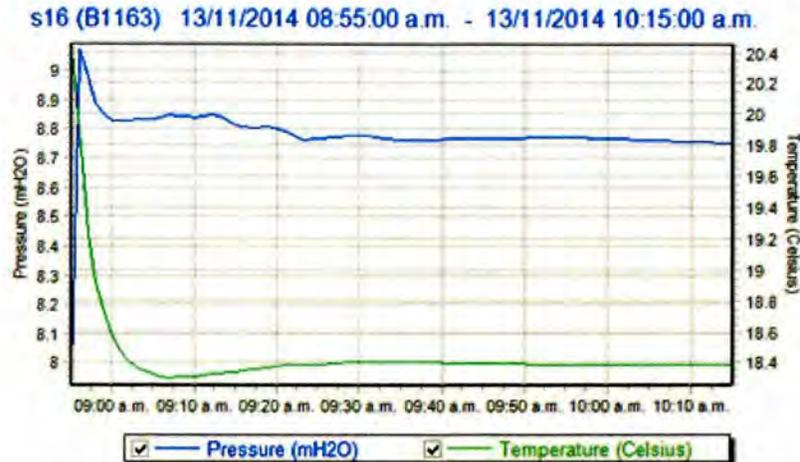


Fuente: Elaboración Propia

En forma general la prueba de **Slug test** se desarrolla durante una Hora aproximadamente, para todos los sondeos y piezómetros donde se encontraron los niveles freáticos.



Figura 178. Datos de campo tomados con el Diver sin compensar.



Fuente: Elaboración Propia

Las conductividades Hidráulicas se calculan mediante las expresiones de **Lefranc**, para cabeza variable, **Gilg Gavard** con cabeza variable. Los sondeos a los cuales se les practicaron ésta prueba se muestran en la siguiente tabla, junto con los resultados obtenidos, de cuyas magnitudes, se puede observar que la permeabilidad por uno u otro método es muy diferente, sin embargo se encuentran dentro del mismo rango de orden ( $10^{-3}$  y  $10^{-4}$  m/día). Valores normales para arcillas y suelos finos limosos, limo arcillosos etc. Solamente en los sondeos S11 y S12, tenemos un orden de magnitud mayor que en los demás ( $10^{-1}$  m/día).

Tabla 61. Sondeos ensayados mediante la prueba SLUG Test y resultados obtenidos.

Ensayo Slug Test área Urbana de Vélez		
Sondeo No	Lefranc Variable	Gilg Gavard Variable
	K mm/día	K mm/día
S 7	0.292	1.070
S 8	2.334	63.345
S 9	1.000	8.057
S 10	0.191	1.617
S 11	17.490	100.472
S 12	18.587	112.955
S 14	0.168	4.895
S 15	1.298	10.392
S 16	1.341	34.922
S 17	0.225	1.887
S 20	0.768	6.051

Fuente: Elaboración Propia

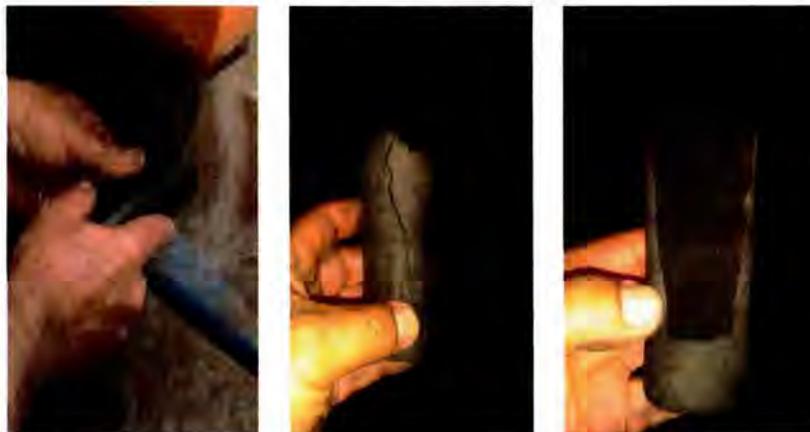
**Tabla 62.** Sondeos ensayados mediante la prueba SLUG Test y resultados obtenidos (continuación).

Ensayo Slug Test área Urbana de Vélez		
S 32	0.932	7.369
S 36	0.942	7.445
S 37	0.389	3.261
S 40	4.884	22.976
S 44	0.118	3.485
S 47	1.156	9.373
S 49	0.485	4.128
S 50	0.032	0.271
S 52	2.253	17.908
S 60	2.605	16.677
S 63	0.084	0.710

Fuente: Elaboración Propia

No sobra recordar que los ensayos de permeabilidad in Situ, son válidos en las inmediaciones de las perforaciones ensayadas, mientras que los ensayos de bombeo son válidos dentro del radio de influencia del cono de abatimiento generado por el bombeo, por lo que éstos últimos generan mayor confiabilidad. Sin embargo es de aclararse aquí que las diferencias encontradas en los valores de permeabilidad entre un ensayo ( bombeo en pozos de gran diámetro) y la prueba de Slug Test, no se contradicen, al contrario, refuerzan el conocimiento del subsuelo, ya que en la Primera, es evidente el grado de laminación de los materiales rocosos, debida a la Fisilidad de dichas rocas lodosas, mientras que en segundo, dicha propiedad no se manifiesta, mostrando el comportamiento del material Infra yacente sin alterar.

**Figura 179.** Materiales extraídos de los sondeos geotécnicos, obsérvese la fractura plana en la última fotografía.



Fuente: Elaboración Propia



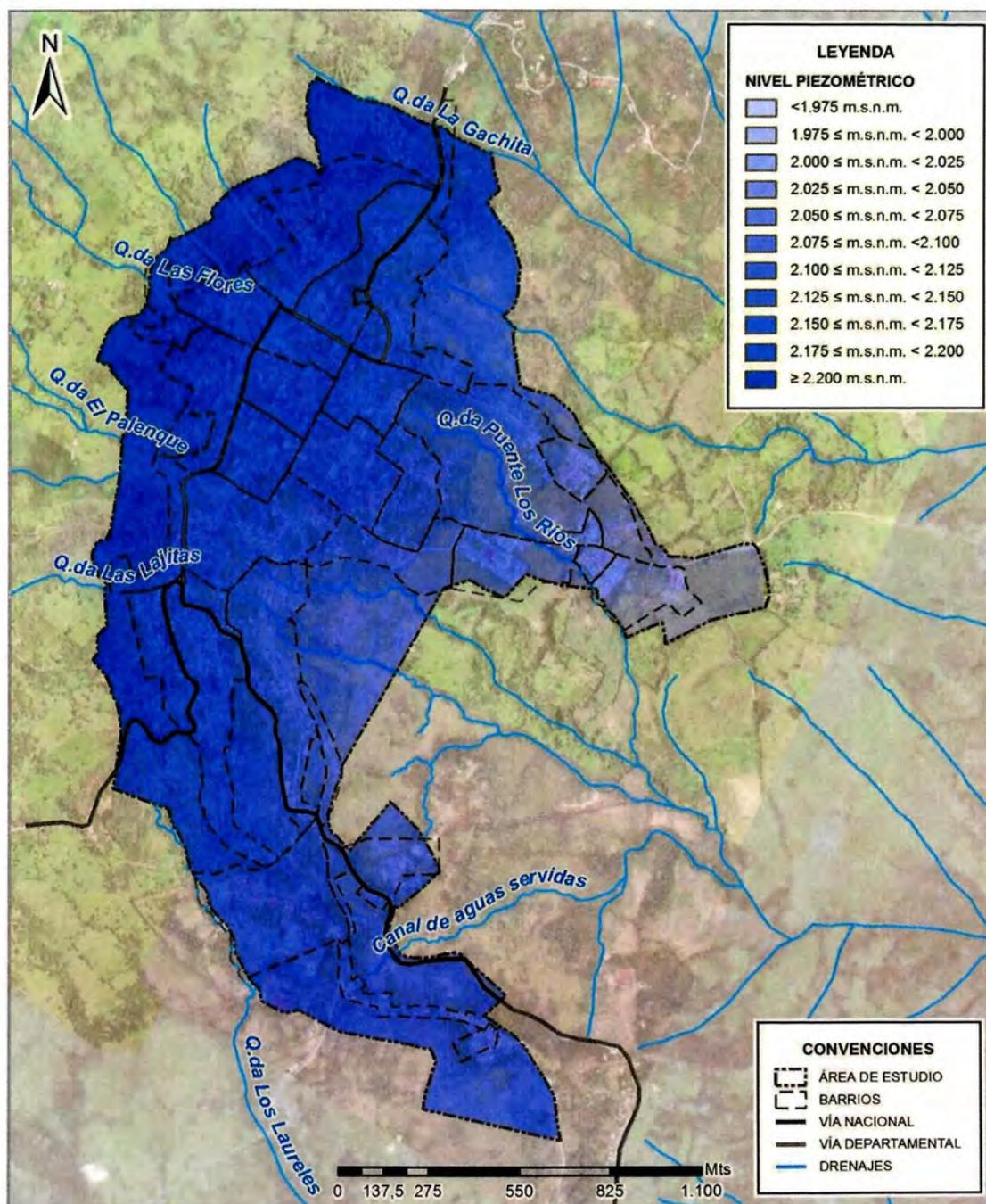
El ensayo de Slug test, muestra una realidad acorde a los materiales encontrados en los sondeos, que corresponden a rocas lodosas del tipo limolitas y arcillolitas, como se muestra en las siguientes fotografías. En donde solamente el fracturamiento natural que genera una Porosidad secundaria considerable, permite que se almacene se transmita y drene al agua subterránea.

### 7.8.3. Piezometría área urbana de Vélez

Con los datos obtenidos en los sondeos geotécnicos (51 sondeos) y en los piezómetros instalados (07 piezómetros) donde se manifestaron los niveles piezométricos, se puede construir el mapa piezométrico para el casco urbano, dichos niveles registrados en las perforaciones, y pruebas de slug test, se montan y procesan en Arc Gis, dando como resultado el siguiente mapa.

Se ve claramente que el agua subterránea se mueve en dirección NW – SE, con gradientes hidráulicos altos en la Zona occidental (parte alta del casco urbano municipal) descendiendo considerablemente hacia el Oriente, (meseta central del casco antiguo municipal).

Figura 180. Mapa piezométrico del casco urbano de Vélez (Plano U-17).



Fuente: Elaboración Propia



### 7.8.4. Calificación para el cálculo de susceptibilidad

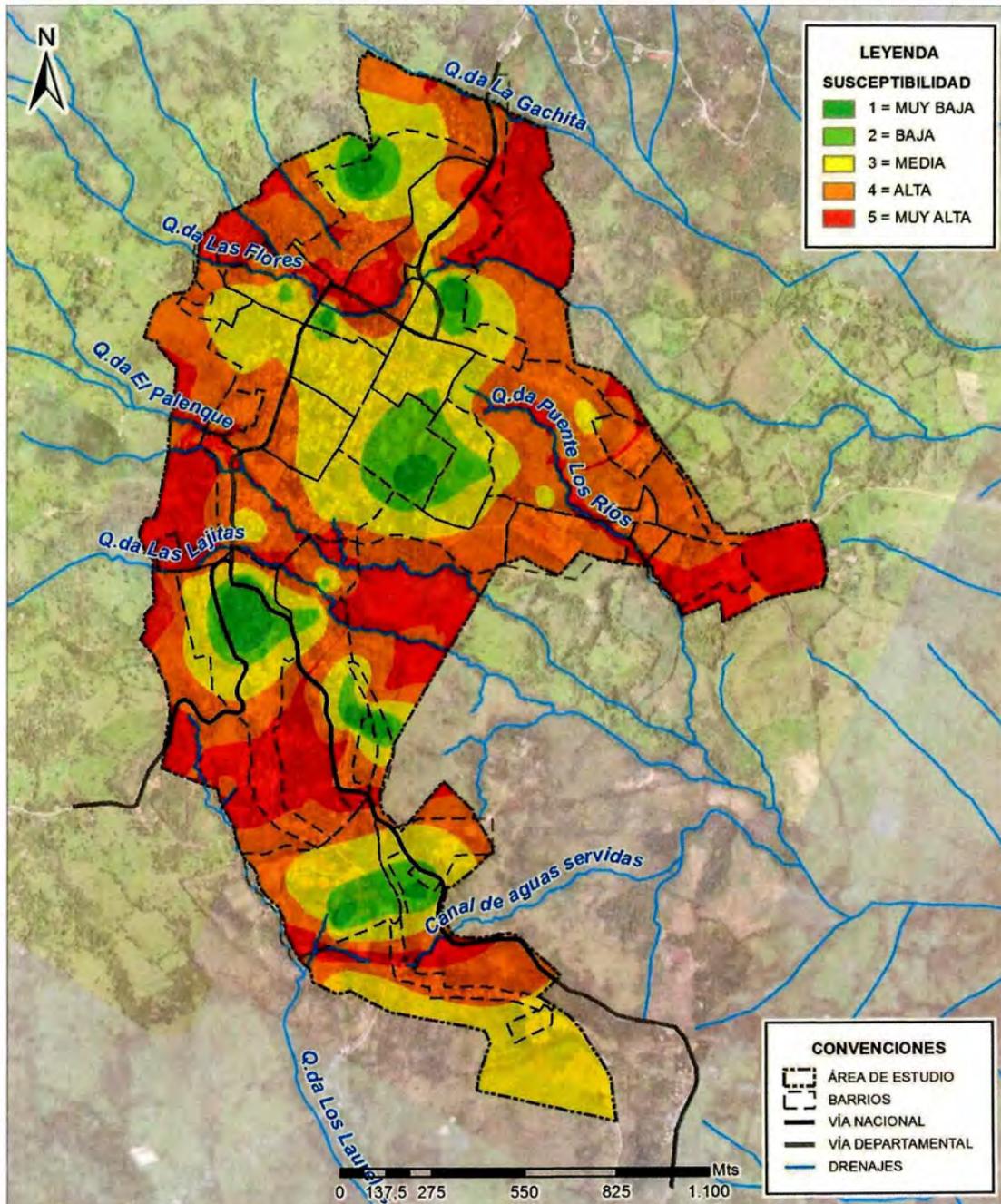
En forma general, se encuentra dentro de los sondeos y Piezómetros construidos para el monitoreo de las Aguas subterráneas en el casco urbano de Vélez, que su profundidad varía desde 6 m, hasta niveles que superan la cota piezométrica por arriba del nivel topográfico < 0.82 m (como se pudo observar en los sondeos ubicados en el sector de la plaza de ferias del Municipio S-19). La presión de poros a las que se puede someter un suelo, dependen de la cota piezométrica que gobierna el suelo y la masa rocosa saturada, y disminuye drásticamente la resistencia al corte del mismo y demás materiales geológicos que infra yacen dicho nivel. Ésta condición se consideró como la fundamental para ponderar la calificación que la hidrogeología aporta en el análisis de variables que conforman la susceptibilidad, de tal forma que la profundidad de los niveles dan la calificación a la variable, de acuerdo a la tabla 63:

Tabla 63. Rangos de Profundidad de N.P.

SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	MUY BAJA	Zonas con pendientes desde moderadas a suaves, y profundidades de niveles freáticos de 4 m o mayores
2	BAJA	Zonas con pendientes desde moderadas a altas y profundidades de niveles freáticos entre 3 y 4 m
3	MEDIA	Zonas con pendientes desde moderadas a altas y profundidades de niveles freáticos entre 1 y 3 m
4	ALTA	Áreas perimetrales ribereñas o suelos con pendientes suaves a moderadas y presencia de niveles freáticos someros menores a 1 m y zonas perimetrales a afloramientos de agua
5	MUY ALTA	Áreas ribereñas ubicadas entre dos corrientes superficiales con niveles freáticos sobre la superficie, y zonas con afloramientos de agua

Fuente: Elaboración Propia

Figura 181. Mapa de susceptibilidad del casco urbano de Vélez. Hidrogeología (Plano U-18).



Fuente: Elaboración Propia

## 8. SUSCEPTIBILIDAD A FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

Para el cálculo de susceptibilidad a movimientos en remoción en masa en el área Urbana de Vélez fueron propuestos cinco factores de análisis, por el equipo de especialistas, son: pendientes, geología (litología-estructura), geomorfología (unidades geomorfológicas), hidrogeología y usos del suelo.

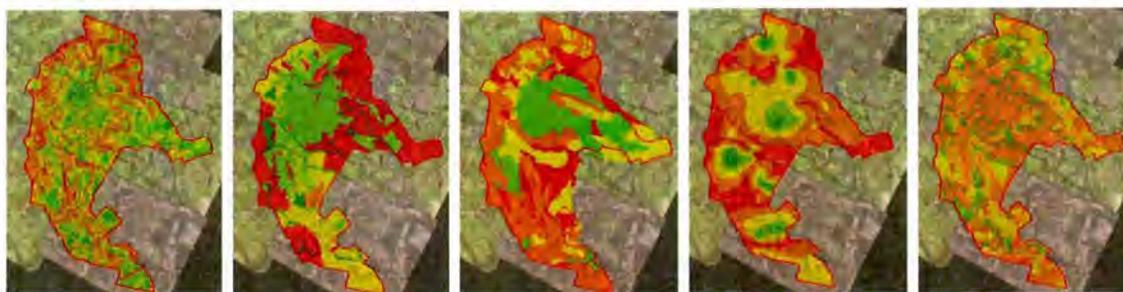
Teniendo en cuenta que cada factor influye de manera diferente en los fenómenos de remoción en masa es importante asignar pesos a cada uno de ellos, para el caso particular de Vélez se llegó a un conceso de los expertos realizando algunas variaciones en los pesos, para finalmente definirlos como se muestran en la tabla 64.

**Tabla 64.** Pesos de los valores para el cálculo de susceptibilidad.

FACTOR	PESO
PENDIENTES	20
GEOLOGÍA	25
GEOMORFOLOGÍA	25
HIDROGEOLOGÍA	20
USO DE SUELO	10

Fuente: Elaboración Propia

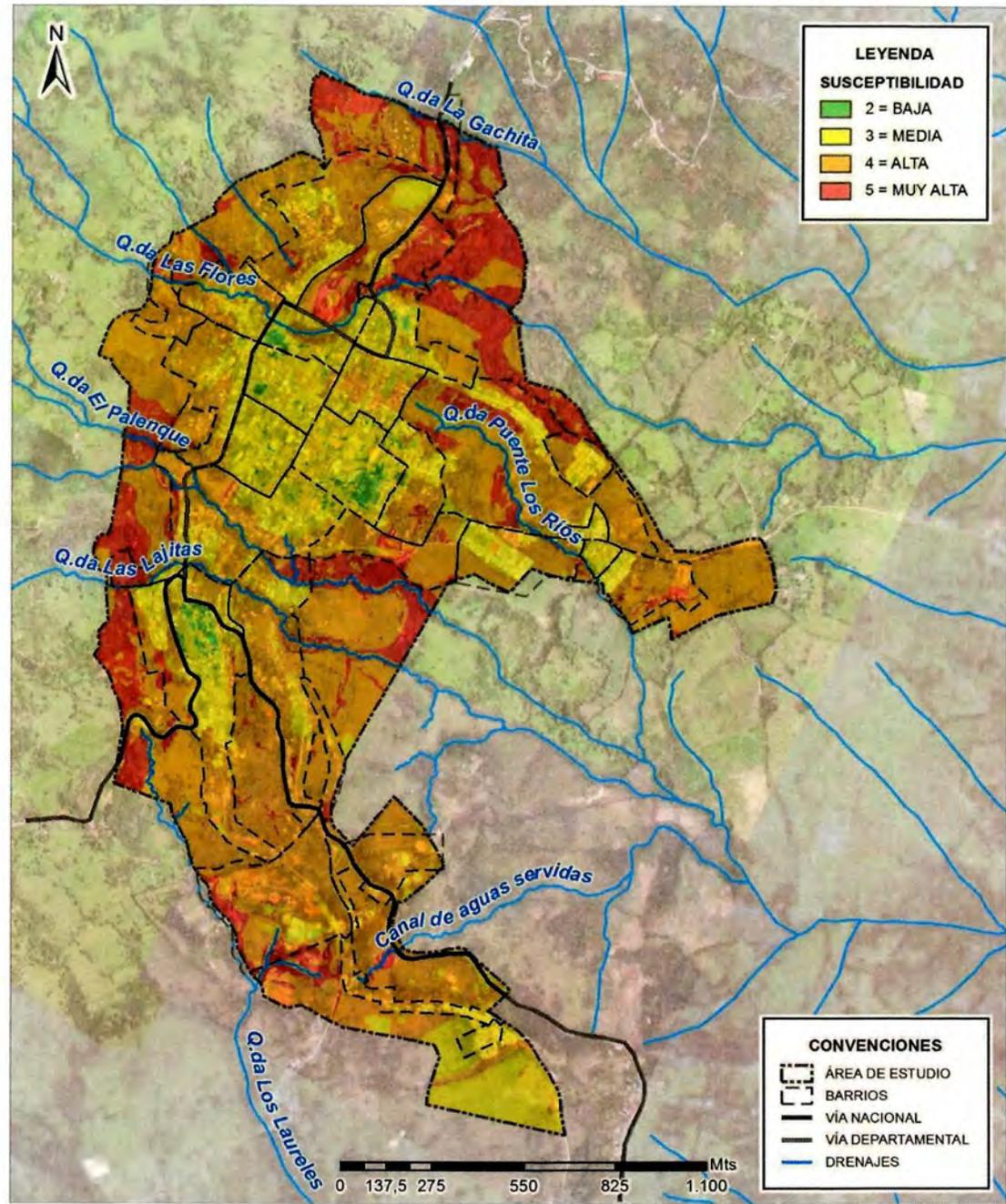
**Figura 182.** Mapa de variable para el cálculo de susceptibilidad a procesos de remocion en masa.



Fuente: Elaboración Propia

Cada uno de los factores se clasificó con una valoración de uno a cinco en nivel amenaza y se procesaron con los pesos definidos mediante el uso de la herramienta ArcGIS para así obtener el mapa de susceptibilidad.

Figura 183. Mapa de susceptibilidad del casco urbano de Vélez (Plano U-19).



Fuente: Elaboración Propia



## 9. BIBLIOGRAFÍA

Acosta G., J. E. (2002). Structural tectonics and 3D modelling of the Western Cordillera Foothills and Middle Magdalena Valley, Colombia. Thesis Ph.D. College of Science, Technology and Medicine, University of London, 163p.

Alvarez R., M., y Bueno S., E., O. (1994). Evaluación geotécnica y mapa de aptitud para el uso urbano del municipio de Vélez, Santander. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2014, p. 23, 24, 25, 30, 31 y 32.

Carrara, A., Cardinali, M., Guzetti, F., and Reinchenbach, P. (1995). GIS technology in mapping landslide hazard. In: A. Carrara and F. Guzetti, eds. Netherlands, 1995, pp.135–175.

Cruz L., E., y Caballero V., M., (2007). Laboratorio de sedimentología. Universidad Industrial de Santander, Santander, 2007.

ESRI (2014). Ayuda de ArcGis 10.2. Disponible en: <<http://resources.arcgis.com/es/help/>> Fecha de consulta: agosto de 2014.

GEMMA - Grupo de Estándares para Movimientos en Masa (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina - Una Guía para la Evaluación de Amenazas. Publicación geológica multinacional No. 4. Impreso en Canadá, Noviembre de 2007, 432p.

Gómez T., J., Nivia G., A., Montes R., N. E., Jiménez M., D. M., Tejada A., M. L., Sepúlveda O., M. J., Osorio N., J. A., Gaona N., T., Diederix., H., Uribe P., H. y Mora P., M. (2007). Geological map of Colombia. Scale 1:1.000.000. INGEOMINAS. Santafé de Bogotá, 2007.

Hermelin, M. (1996). Medio ambiente y plan de desarrollo municipal. Medellín, 1996, 39p.

Hernández C. J. (sin fecha). Síntesis de los biomas de Colombia. Disponible en: [bibliotecavirtual.minambiente.gov.co](http://bibliotecavirtual.minambiente.gov.co). Bogotá, 33p.

Hincapié V., G., y Veloza F., J. (2009). Informe hidrogeológico mesa de Barichara – Curití, Provincia Guanentá (Santander). Bogotá, junio 2009, 76p.

IDEAM (2010). Leyenda Nacional de Cobertura de la Tierra, Metodología CORINE Land Cover adoptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D.C., 72 p.

INGEOMINAS (2007). Atlas Geológico de Colombia, Plancha 5-09, escala 1:500.000. Servicio Geológico, Bogotá, 2007.

INGEOMINAS (1984). Geología de la Plancha 170 Vélez, escala 1:100.000. Por C. Ulloa M. y E. Rodríguez M. Bogotá, 1984.



INIGEMM – Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (2013). Memoria descriptiva del mapa de zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa, zona Zaruma-Paccha, escala 1:50.000. Fase I. Quito. Junio de 2013, 25p.

Mojica, J. y Franco, R. (1990). Estructura y evolución tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena, Colombia. *Geología Colombiana* 17: 41-64, Bogotá.

Mora C., S., and Vahrson, W. G. (1994). Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Association of Engineering Geologists Bulletin*, Vol. XXXI, No. 1, 1994, pp. 49-58.

Morales A., C. J. (2010). Geología de la región central del departamento de Santander. Resultados de la exploración de aguas subterráneas. Ponencia con diapositivas. Bucaramanga, julio de 2010, 41p.

Porras L., L. I. y Vianan C., F. V. (2013). Cartografía geológica, geomorfológica y geotécnica preliminar a escala 1:5000 del casco urbano del municipio de Vélez y su área rural perimetral. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2013, p. 50, 51 y 52.

PREDECAN (2009). Guía técnica para la interpretación y aplicación de análisis de amenazas y riesgo para propósitos de planificación y gestión territorial. Resultado 3: planificación y desarrollo. Financiado por la Comisión Europea y la Comunidad Andina. Bogotá, mayo de 2009, 80p.

Pulido G., O. (1985). Geología de la plancha 135 San Gil. Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 1985.

Reyes M., G. A. (2012). Geología, amenazas y riesgos de Utica. Documentos de diagnóstico del EOT de Utica; dimensión biofísica del suelo rural y urbano. Cideter Ltda., Municipio de Utica – Gobernación de Cundinamarca. Bogotá, agosto de 2012, 68p.

Reyes M., G. A. (2013). Estudios geológicos, geomorfológicos y zonificación geológico-geotécnica para el mantenimiento y pavimentación de 54 km de vías terciarias de Santander. Informes y cartografía de las vías Galán–puente Punteadero–Berlín, Páramo–vereda Hoya de San José–Socorro y La Cantera (Charalá)–Encino. Contrato celebrado con la UT MI Consultores, para el departamento de Santander. Bucaramanga, julio de 2013.

Reyes M., G. A., y Álvarez B., M. I. (2007). Bucaramanga. En libro Entorno Natural de 17 Ciudades de Colombia. Editor Michel Hermelin. Sociedad Colombiana de Geología – Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales – Fondo Editorial EAFIT. Medellín, julio de 2007, p. 93-94.

Royero G., J. M. y Clavijo, J. (2001). Mapa geológico generalizado departamento de Santander. Escala 1:400.000. Memoria explicativa. Ingeominas. Bucaramanga, 2001. 91 p Y 84p.



Saaty, T. L. (1990). Multicriteria decision making – the analytic hierarchy process. AHP Series, Vol. I, McGrawHill, New York, 1990.

Tobaoada, A., Rivera, L. A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J. y Rivera, C. (2000). Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*, v. 19, No. 5, 787-813, october 2000.

Universidad Industrial de Santander (2002). Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Vélez. División de Asesorías y Servicios Especializados. Bucaramanga, 2002.

Van Zuidam, R. A. (1985). Aerial photointerpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. Smits Publishers, The Hague, 442p.

Vargas, C.A., Pujades, L., Ugalde, A. y Canas, J.A. (2002). Estado de deformación y esfuerzos en el territorio Colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Vol. XXVI (100): 373-391.

# ESTUDIO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ, DEPARTAMENTO DE SANTANDER

## VOLUMEN II-B ESTUDIO DE SUSCEPTIBILIDAD GEOTÉCNICA Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA DEL CASCO URBANO DE VÉLEZ

ELABORADO POR:



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

GEOMÁTICA

Gestión y optimización de sistemas

PRESENTADO A:



AGOSTO DE 2015

BUCARAMANGA

**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO:****No. 9677-04-1127-2013****OBJETO:**

Aunar esfuerzos administrativos, financieros y técnicos para contratar y desarrollar el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Municipio de Vélez, Departamento de Santander

**INFORME:**

Volumen II-B Estudio de Susceptibilidad Geotécnica y evaluación de la Amenaza por remoción en masa del casco urbano de Vélez.

**ELABORADO POR:**

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



Grupo de investigación:  
GEOMATICA, Gestión y optimización de sistemas

**Coordinación técnica**

Hebenly Celis Leguizamo  
Ingeniera Civil  
Especialista en Asfaltos y Pavimentos  
Magíster en ingeniería Civil

Wilfredo Del Toro Rodriguez  
Ingeniero Civil  
Magíster en ingeniería Civil-Área Geotecnia  
Especialista en preservación de recursos hídricos y de suelos

**Director general**

Hernán Porras Díaz  
Ingeniero Civil  
Magíster en Informática  
Magíster en Gestión Tecnológica  
Doctor Ingeniero en Telecomunicaciones

Bucaramanga, Agosto de 2015

**Equipo técnico**

Darío Villamizar  
Ingeniero Forestal  
Magíster en Geografía física  
Especialista políticas ambientales en la conducción de proyectos

German Alfonso Reyes Mendoza  
Geólogo  
Especialista en Riesgos Geológicos y Prevención de Desastres  
Especialista en Derecho Ambiental  
Magíster en Geología  
Estudiante de Doctorado

Gustavo Chio Cho  
Ingeniero Civil  
Especialista en Docencia Universitaria  
Doctor en Ingeniería de caminos, Canales y puertos

Wilfredo Del Toro Rodríguez  
Ingeniero Civil  
Magíster en ingeniería Civil-Área Geotecnia  
Especialista en preservación de recursos hídricos y de suelos

Luis Eduardo Moreno Torres  
Ingeniero civil  
Especialista en Ingeniería Ambiental  
Especialista en Alta Gerencia  
Especialista en Docencia Universitaria

Héctor Torres Ortiz  
Ingeniero civil  
Estudiante de Maestría en Geotecnia

Silvia Ruggeri  
Bióloga  
Especialista en Monitoreo Biológico

**Equipo de apoyo técnico**

Johanna Lucia Pimiento Ardila  
Ingeniera civil

Andrea Marcela Vera Guarín  
Ingeniera civil

Yuseth Sebastián Gómez Neira  
Ingeniero civil

Andrés Julián Ulloa Moreno  
Ingeniero civil

John Jairo Báez Lizarazo  
Ingeniero civil

Sandy Jair Yanes Sánchez  
Ingeniero Civil  
Especialista en Sistemas de información Geográfica

Jesús Orlando Escalante Torrado  
Ingeniero civil  
Estudiante de Maestría En Ingeniería Civil

Dewin Aguilera Lizarazo  
Geólogo  
Estudiante de Maestría en Geotecnia

Duvan Yahir Sanabria Echeverry  
MSc. Ing. Sistemas e Informática

Elver Omar Gallo Lancheros  
MSc. Ing. Sistemas e Informática



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA .....</b>	<b>11</b>
1.1 EXPLORACIÓN Y ANÁLISIS GEOTÉCNICO .....	11
1.1.1 Exploración por métodos indirectos .....	11
1.1.2 Exploración por métodos directos .....	30
1.1.3 Ensayos de laboratorio.....	37
1.2 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	50
1.2.1 Zona geotécnica SS1 .....	52
1.2.2 Zona geotécnica SS2 .....	54
1.2.3 Zona geotécnica R1 .....	59
1.2.4 Zona geotécnica R2 .....	63
1.2.5 Zona geotécnica RS.....	65
1.2.6 Zona geotécnica RS1.....	67
1.2.7 Zona geotécnica RS2.....	70
1.2.8 Zona geotécnica AL.....	73
1.2.9 Zona geotécnica AL2.....	74
1.2.10 Zona geotécnica SQ1.....	75
1.2.11 Zona geotécnica SQ2.....	76
<b>2 PROBABILIDAD DE FALLA .....</b>	<b>79</b>
2.1 SISMICIDAD.....	82
2.1.1 Marco tectónico general .....	85
2.1.2 Requerimientos amenaza sísmica NSR-10 .....	86
2.2 MODELAMIENTO GEOTÉCNICO .....	89
2.2.1 Sector barrio San Luis frente a la cárcel .....	90
2.2.2 Sector barrio San Luis costado sur quebrada Las Flores .....	98
2.2.3 Sector barrio La Esperanza.....	103
2.2.4 Sector barrio Kennedy.....	109
2.2.5 Sector barrio La Feria.....	115
2.2.6 Sector barrio Santa Teresita .....	121
2.2.7 Sector barrios Ricaurte y San Andresito .....	128
2.3 ZONIFICACIÓN POR AMENAZA GEOTÉCNICA .....	133
2.3.1 Zonas de amenaza baja y muy baja .....	136
2.3.2 Zonas de amenaza media .....	136
2.3.3 Zonas de amenaza alta .....	136
2.3.4 Zonas de amenaza muy alta .....	137
2.3.5 Mapa de zonificación por probabilidad de falla .....	137
<b>3 CÁLCULO DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA.....</b>	<b>139</b>
3.1 VERIFICACIÓN DE AMENAZA.....	141
3.1.1 Inventario de procesos .....	141
<b>4 CONCLUSIONES.....</b>	<b>150</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Vista del equipo SuperSting R/8 usado en la exploración geotécnica .....	12
<b>Figura 2.</b>	Vista de mediciones durante la primera campaña de levantamientos. ....	13
<b>Figura 3.</b>	Vista de mediciones durante la segunda campaña de levantamientos. ....	14
<b>Figura 4.</b>	Vista de mediciones durante la campaña de levantamientos en Alto Jordán. ....	14
<b>Figura 5.</b>	Localización levantamientos en área urbana de Vélez. ....	15
<b>Figura 6.</b>	Tomografía 1. ....	16
<b>Figura 7.</b>	Tomografía 2. ....	17
<b>Figura 8.</b>	Tomografía 3. ....	17
<b>Figura 9.</b>	Tomografía 4. ....	18
<b>Figura 10.</b>	Tomografía 5. ....	18
<b>Figura 11.</b>	Tomografía 6. ....	19
<b>Figura 12.</b>	Tomografía 7. ....	20
<b>Figura 13.</b>	Tomografía 8. ....	20
<b>Figura 14.</b>	Tomografía 9. ....	21
<b>Figura 15.</b>	Tomografía 10. ....	21
<b>Figura 16.</b>	Tomografía 11. ....	22
<b>Figura 17.</b>	Tomografía 12. ....	23
<b>Figura 18.</b>	Tomografía 13. ....	23
<b>Figura 19.</b>	Tomografía 14. ....	24
<b>Figura 20.</b>	Tomografía 15. ....	24
<b>Figura 21.</b>	Tomografía 16. ....	25
<b>Figura 22.</b>	Tomografía 17. ....	25
<b>Figura 23.</b>	Tomografía 18. ....	26
<b>Figura 24.</b>	Tomografía 19. ....	26
<b>Figura 25.</b>	Tomografía 20. ....	27
<b>Figura 26.</b>	Tomografía 21. ....	27
<b>Figura 27.</b>	Tomografía 22. ....	28
<b>Figura 28.</b>	Tomografía 23. ....	28
<b>Figura 29.</b>	Tomografía 24. ....	29
<b>Figura 30.</b>	Tomografía 25. ....	29
<b>Figura 31.</b>	Tomografía 26. ....	30
<b>Figura 32.</b>	Esquema general de equipo a roto-percusión. ....	31
<b>Figura 33.</b>	Vista general de sondeos. ....	34
<b>Figura 34.</b>	Vista general de muestras obtenidas en sondeos. ....	34
<b>Figura 35.</b>	Localización de apiques y sondeos realizados para el casco urbano de Vélez (Plano U-20). ....	36
<b>Figura 36.</b>	Vista general de apiques. ....	37
<b>Figura 37.</b>	Histograma de humedad. ....	42
<b>Figura 38.</b>	Carta de plasticidad. ....	43
<b>Figura 39.</b>	Vista general de ensayos de presión de expansión. ....	45
<b>Figura 40.</b>	Vista general de ensayos de compresión simple. ....	46
<b>Figura 41.</b>	Índice de resistencia geológica GSI, para macizos rocosos fracturados. ....	49
<b>Figura 42.</b>	Sectorización geotécnica en el municipio de Vélez (Plano U-21). ....	51
<b>Figura 43.</b>	Perfil geotécnico promedio, obtenido de la base geotécnica. Zona geotécnica SS2. .	57
<b>Figura 44.</b>	Perfil geotécnico promedio, obtenido de la base geotécnica. ....	61
<b>Figura 45.</b>	Perfil geotécnico promedio, obtenido de la base geotécnica, Zona geotécnica RS1. .	69



<b>Figura 46.</b>	Sismicidad historia de los sectores aledaños al departamento de Santander.....	83
<b>Figura 47.</b>	Zonas de amenaza sísmica en el departamento de Santander, epicentros sísmicos registrados por la Red Sismológica Nacional (junio de 1993 a marzo de 1997).....	83
<b>Figura 48.</b>	Sismos presentados en el área cercana al Municipio con diferentes intensidades y profundidades.....	84
<b>Figura 49.</b>	Zonas de amenaza sísmica de Colombia.....	86
<b>Figura 50.</b>	Espectro elástico de aceleraciones de diseño con fracción de g.....	88
<b>Figura 51.</b>	Vista general de sectores aledaños al Barrio San Luis.....	90
<b>Figura 52.</b>	Análisis estático falla circular, sector de San Luis.....	91
<b>Figura 53.</b>	Análisis dinámico falla circular, aceleración sísmica de 0.15g, sector de San Luis.....	91
<b>Figura 54.</b>	Análisis estático falla no circular, sector de San Luis.....	92
<b>Figura 55.</b>	Análisis dinámico falla no circular, aceleración sísmica de 0.15g, sector de San Luis.....	92
<b>Figura 56.</b>	Análisis esfuerzo deformación, sector la Cárcel barrio San Luis.....	93
<b>Figura 57.</b>	Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, sector de San Luis.....	95
<b>Figura 58.</b>	Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, aceleración sísmica de 0.15g, sector de San Luis.....	95
<b>Figura 59.</b>	Análisis estático falla no circular, con obras de mitigación, sector de San Luis.....	96
<b>Figura 60.</b>	Análisis dinámico falla no circular, con obras de mitigación, aceleración sísmica de 0.15g, sector de San Luis.....	96
<b>Figura 61.</b>	Análisis esfuerzo deformación obras de mitigación, sector la Cárcel barrio San Luis.....	97
<b>Figura 62.</b>	Vista general de sectores aledaños al Barrio San Luis.....	98
<b>Figura 63.</b>	Análisis estático falla circular, sector sur quebrada las Flores barrio San Luis.....	99
<b>Figura 64.</b>	Análisis dinámico falla circular, sector sur quebrada las Flores barrio San Luis. Aceleración sísmica de 0.15g.....	99
<b>Figura 65.</b>	Análisis esfuerzo deformación, sector sur quebrada las Flores barrio San Luis.....	100
<b>Figura 66.</b>	Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, costado sur junto a quebradas la Flores en el barrio de San Luis.....	101
<b>Figura 67.</b>	Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, aceleración sísmica de 0.15g, costado sur junto a quebradas la Flores en el barrio de San Luis.....	102
<b>Figura 68.</b>	Análisis esfuerzo deformación con obras de mitigación, costado sur junto a quebradas la Flores en el barrio de San Luis.....	102
<b>Figura 69.</b>	Pozos existentes en el barrio Esperanza.....	103
<b>Figura 70.</b>	Vista general de problemas en el Barrio Esperanza.....	104
<b>Figura 71.</b>	Análisis estático falla circular, barrio la Esperanza.....	105
<b>Figura 72.</b>	Análisis dinámico falla circular, barrio la Esperanza. Aceleración sísmica de 0.15g.....	105
<b>Figura 73.</b>	Análisis esfuerzo deformación, Barrio la Esperanza.....	106
<b>Figura 74.</b>	Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, barrio Esperanza.....	107
<b>Figura 75.</b>	Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, aceleración sísmica de 0.15g, barrio Esperanza.....	108
<b>Figura 76.</b>	Análisis esfuerzo deformación con obras de mitigación, barrio la Esperanza.....	108
<b>Figura 77.</b>	Problemas en el barrio Kennedy.....	110
<b>Figura 78.</b>	Análisis estático falla circular, barrio la Kennedy.....	111
<b>Figura 79.</b>	Análisis dinámico falla circular, barrio la Kennedy. Aceleración sísmica de 0.15g.....	111
<b>Figura 80.</b>	Análisis esfuerzo deformación, barrio la Kennedy.....	112
<b>Figura 81.</b>	Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, barrio Kennedy.....	113
<b>Figura 82.</b>	Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, aceleración sísmica de 0.15g, barrio Kennedy.....	114
<b>Figura 83.</b>	Análisis esfuerzo deformación con obras de mitigación, barrio Kennedy.....	114
<b>Figura 84.</b>	Problemas en el barrio La Feria.....	115
<b>Figura 85.</b>	Análisis estático falla circular, barrio La Feria.....	116
<b>Figura 86.</b>	Análisis dinámico falla circular, barrio La Feria. Aceleración sísmica de 0.15g.....	117
<b>Figura 87.</b>	Análisis esfuerzo deformación, barrio La Feria.....	118



**Figura 88.** Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, barrio La Feria. .... 119

**Figura 89.** Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, aceración sísmica de 0.15g, barrio La Feria. .... 120

**Figura 90.** Análisis esfuerzo deformación con obras de mitigación, barrio La Feria. .... 120

**Figura 91.** Problemas en el barrio Santa Teresita. .... 122

**Figura 92.** Análisis estático falla circular, Santa Teresita. .... 122

**Figura 93.** Análisis dinámico falla circular, Santa Teresita. Aceración sísmica de 0.15g. .... 123

**Figura 94.** Análisis esfuerzo deformación, Santa Teresita parte baja. .... 124

**Figura 95.** Análisis esfuerzo deformación, Santa Teresita parte alta. .... 124

**Figura 96.** Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, barrio Santa Teresita. .... 125

**Figura 97.** Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, aceración sísmica de 0.15g, barrio Santa Teresita. .... 126

**Figura 98.** Análisis esfuerzo deformación con obras de mitigación, barrio Santa Teresita parte alta. .... 126

**Figura 99.** Análisis esfuerzo deformación con obras de mitigación, barrio Santa Teresita parte baja. .... 127

**Figura 100.** Problemas en el barrio Ricaurte y San Andresito. .... 128

**Figura 101.** Análisis estático falla circular, barrios Ricaurte y San Andresito. .... 129

**Figura 102.** Análisis dinámico falla circular, barrios Ricaurte y San Andresito. Aceración sísmica de 0.15g. .... 129

**Figura 103.** Análisis esfuerzo deformación, barrios Ricaurte y San Andresito. .... 130

**Figura 104.** Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, barrios Ricaurte y San Andresito. .... 131

**Figura 105.** Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, aceración sísmica de 0.15g, barrios Ricaurte y San Andresito. .... 132

**Figura 106.** Análisis esfuerzo deformación con obras de mitigación, barrio Ricaurte. .... 132

**Figura 107.** Zonificación por deformación probable, probabilidad de falla cualitativa (Plano U-22). 134

**Figura 108.** Zonificación por factor de seguridad, probabilidad de falla cualitativa (Plano U-23). 135

**Figura 109.** Zonificación por probabilidad de falla (Plano U-24). .... 138

**Figura 110.** Zonificación de amenaza por movimientos de remoción en masa (Plano U-25). .... 140

**Figura 111.** Localización de movimientos en masa en el casco urbano de Vélez. .... 142

**Figura 112.** Distribución de densidad de movimientos en masa inventariados según nivel de amenaza. .... 149



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Localización de sondeos 1-20.....	32
<b>Tabla 2.</b>	Localización de sondeos 21-51.....	33
<b>Tabla 3.</b>	Localización de apiques.....	35
<b>Tabla 4.</b>	Normas para la realización de ensayos de laboratorio.....	38
<b>Tabla 5.</b>	Resumen de ensayos de caracterización sondeos 1 al 7.....	38
<b>Tabla 6.</b>	Resumen de ensayos de caracterización sondeos 8 al 20.....	39
<b>Tabla 7.</b>	Resumen de ensayos de caracterización sondeos 21 al 35.....	40
<b>Tabla 8.</b>	Resumen de ensayos de caracterización sondeos 36 al 51.....	41
<b>Tabla 9.</b>	Resultados ensayos de Corte Directo.....	44
<b>Tabla 10.</b>	Resultados ensayos de presión de expansión.....	46
<b>Tabla 11.</b>	Resultados ensayos compresión simple.....	47
<b>Tabla 12.</b>	Perfil típico de zona geotécnica SS1.....	52
<b>Tabla 13.</b>	Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica SS1.....	53
<b>Tabla 14.</b>	Perfil típico de zona geotécnica SS2.....	56
<b>Tabla 15.</b>	Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica SS2.....	58
<b>Tabla 16.</b>	Perfil típico de zona geotécnica R1.....	60
<b>Tabla 17.</b>	Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica R1.....	62
<b>Tabla 18.</b>	Perfil típico de zona geotécnica R2.....	63
<b>Tabla 19.</b>	Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica 2R.....	64
<b>Tabla 20.</b>	Perfil típico de zona geotécnica RS.....	66
<b>Tabla 21.</b>	Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica RS.....	66
<b>Tabla 22.</b>	Perfil típico de zona geotécnica RS1.....	68
<b>Tabla 23.</b>	Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica RS1.....	70
<b>Tabla 24.</b>	Perfil típico de zona geotécnica RS2.....	71
<b>Tabla 25.</b>	Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica RS2.....	72
<b>Tabla 26.</b>	Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica AL2.....	74
<b>Tabla 27.</b>	Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica 1SQ.....	75
<b>Tabla 28.</b>	Perfil típico de zona geotécnica SQ2.....	77
<b>Tabla 29.</b>	Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica SQ2.....	77
<b>Tabla 30.</b>	Relación entre probabilidad numérica y cualitativa para la evaluación de probabilidad de falla.....	80
<b>Tabla 31.</b>	Valores máximos de asentamientos diferenciales calculados, expresados en función de la distancia entre apoyos o columnas.....	81
<b>Tabla 32.</b>	Relación entre deformación probable y probabilidad de falla cualitativa.....	81
<b>Tabla 33.</b>	Registro sísmico con magnitud mayor a 3 y epicentro en el municipio de Vélez.....	84
<b>Tabla 34.</b>	Factores de seguridad y probabilidad cualitativa, sector aledaño a la cárcel en el barrio San Luis.....	94
<b>Tabla 35.</b>	Factores de seguridad y probabilidad cualitativa con obras de mitigación, sector aledaño a la cárcel en el barrio San Luis.....	97
<b>Tabla 36.</b>	Factores de seguridad y probabilidad cualitativa, costado sur de quebradas las Flores en el barrio San Luis.....	101
<b>Tabla 37.</b>	Factores de seguridad y probabilidad cualitativa con obras de mitigación, costados sur junto a quebradas la Flores en el barrio de San Luis.....	103
<b>Tabla 38.</b>	Factores de seguridad y probabilidad cualitativa, barrió la Esperanza.....	107
<b>Tabla 39.</b>	Factores de seguridad y probabilidad cualitativa con obras de mitigación, barrio La Esperanza.....	109



<b>Tabla 40.</b>	Factores de seguridad y probabilidad cualitativa, barrio Kennedy.....	113
<b>Tabla 41.</b>	Factores de seguridad y probabilidad cualitativa con obras de mitigación, barrio Kennedy.....	115
<b>Tabla 42.</b>	Factores de seguridad y probabilidad cualitativa, barrio La Feria .....	118
<b>Tabla 43.</b>	Factores de seguridad y probabilidad cualitativa con obras de mitigación, barrio La Feria 121	
<b>Tabla 44.</b>	Factores de seguridad y probabilidad cualitativa, Santa Teresita.....	125
<b>Tabla 45.</b>	Factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa.....	127
<b>Tabla 46.</b>	Factores de seguridad y probabilidad cualitativa, barrios Ricaurte y San Andresito. ....	131
<b>Tabla 47.</b>	Factores de seguridad y probabilidad cualitativa con obras de mitigación, barrios Ricaurte y San Andresito. ....	133
<b>Tabla 48.</b>	Inventario de deslizamientos del área urbana de Vélez. ....	143



## 1. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

### 1.1 EXPLORACIÓN Y ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Para determinar las características y propiedades mecánicas del subsuelo en el casco urbano del municipio de Vélez, se realizaron actividades de exploración geotécnica mediante ensayos directos e indirectos. Los ensayos indirectos consistieron en la realización de tomografías eléctricas y los ensayos directos mediante técnicas de exploraciones de perforación con equipo mecánico, así como la realización de apiques para la extracción de los materiales (superficiales), existentes in situ.

Los resultados de la exploración se cotejaron con las diferentes unidades geológicas y geomorfológicas identificadas en el área urbana de Vélez y sus alrededores, considerando las formas elementales que las componen y precisando su vulnerabilidad geomorfológica, en términos de la presencia de suelo residual, horizontes orgánicos superficiales, topografía y amenaza.

En el desarrollo de este capítulo, se presentan los resultados obtenidos de los trabajos de exploración, así como el tipo de ensayos de laboratorio llevados a cabo, incluyendo el análisis de la información obtenida.

#### 1.1.1 Exploración por métodos indirectos

Para la exploración indirecta el método geofísico empleado fue el de resistividad, mediante la técnica conocida como Perfilaje eléctrico o Tomografía eléctrica, se obtuvieron perfiles de resistividad del terreno mediante mediciones en la superficie, realizadas con ayuda del dispositivo de 56 electrodos SuperSting/R8 y el arreglo de electrodos de Wenner-Schlumberger. En la figura 1 se muestra el SuperStin/R8.

Con los estudios de geofísica se pretende determinar la distribución de resistividades en el subsuelo bajo líneas de medición y a partir de ello estimar los posibles materiales y discontinuidades litológicas en el área del levantamiento.

El método consiste fundamentalmente en estudiar las variaciones en el subsuelo de la propiedad física conocida como resistividad eléctrica, la cual es el inverso de la conductividad eléctrica. La resistividad eléctrica es la propiedad que poseen los diferentes tipos de materiales, artificiales o naturales, de oponerse al flujo de la corriente eléctrica en presencia de un campo eléctrico en cualquiera de las direcciones x, y, z. A través de los contrastes de los valores obtenidos es posible diferenciar distintas clases de materiales existentes en el subsuelo.

Con base en los estudios geológicos, geomorfológicos y las visitas de inspección en campo se proyectaron los sectores donde se realizaron las tomografías eléctricas. Esencialmente se planeó la realización de mediciones geofísicas con el fin de identificar concentraciones de agua o alta humedad y de anomalías geológicas como fracturas o sitios que presenten

características físicas que puedan indicar la presencia de flujos de agua. Esta información se considera importante para la identificación de los factores que están incidiendo en los problemas de inestabilidad, tanto desde el punto de vista de resistencia como de deformación de los suelos; adicionalmente, la técnica permite estimar los estratos de suelo que controlan la respuesta a la acción de agentes detonantes de movimientos.

Las exploraciones geotécnicas mediante tomografía eléctrica poseen la ventaja de poder cubrir una gran extensión, tanto en distancia horizontal como en profundidad; además, el método es de gran utilidad para estimar el tipo de material que compone los estratos de suelo e identificar posibles concentraciones de humedad. La desventaja es que su análisis se apoya en hipótesis de aumento o disminución de resistividades eléctricas, por lo cual, la interpretación está siempre sujeta a un nivel de incertidumbre; por otra parte, la información obtenida con el método no es suficiente para la caracterización mecánica del terreno.

**Figura 1.** Vista del equipo SuperSting R/8 usado en la exploración geotécnica



Fuente: Elaboración Propia

### 1.1.1.1 Proceso de medición

El levantamiento de tomografías eléctricas 2D, consiste en la recolección de valores de resistividad aparente del subsuelo, para ello se hincan electrodos o estacas metálicas en la superficie, a través de las cuales se inyectan corrientes que atraviesan el suelo; la dificultad del paso de la corriente por los materiales de suelo se mide y mediante un proceso posterior se obtienen imágenes de resistividad real que permiten obtener información del subsuelo.

Para la realización de las mediciones se realizaron cuatro campañas de levantamiento de tomografías eléctricas 2D en el municipio de Vélez, las dos primeras y la cuarta campaña de medición (figura 2, 3 y 4) correspondieron al área urbana; la tercera campaña se llevó a cabo en el área suburbana Alto Jordán. En el presente informe se expone lo

correspondiente a la exploración en el casco urbano de Vélez. La localización y alineamientos de las tomografías se pueden apreciar en la figura 5. La información referente al corregimiento de Alto Jordán se encuentra en el informe correspondiente a ese centro urbano.

La primera campaña comprendió los días 20 a 26 de Junio de 2014, durante estos, se hicieron seis mediciones a lo largo del costado occidental del casco urbano y tres más dentro del área urbana (líneas en rojo en la figura 5). En las 2 a 3 se presentan algunos sitios donde se realizaron levantamientos de tomografía eléctrica.

**Figura 2.** Vista de mediciones durante la primera campaña de levantamientos.

Izq: Medición Tomografía 1. Der: Medición frente al cementerio (T9).



Fuente: Elaboración Propia

La segunda campaña, entre los días 14 a 20 de Julio, correspondió a once mediciones a lo largo del costado oriental del casco urbano y una dentro del área urbana (líneas en amarillo en la figura 5).

La cuarta campaña, tuvo lugar entre el 18 y 21 de Octubre de 2014, constó de cinco levantamientos en el Área Urbana de Vélez. Los alineamientos se pueden encontrar en la figura 5.

Las cuatro campañas suman un total de 26 líneas tomográficas en el área urbana del municipio de Vélez.

**Figura 3.** Vista de mediciones durante la segunda campaña de levantamientos.

Izq: Medición Tomografía 16. Der: Levantamiento Tomografía 12.



Fuente: Elaboración Propia

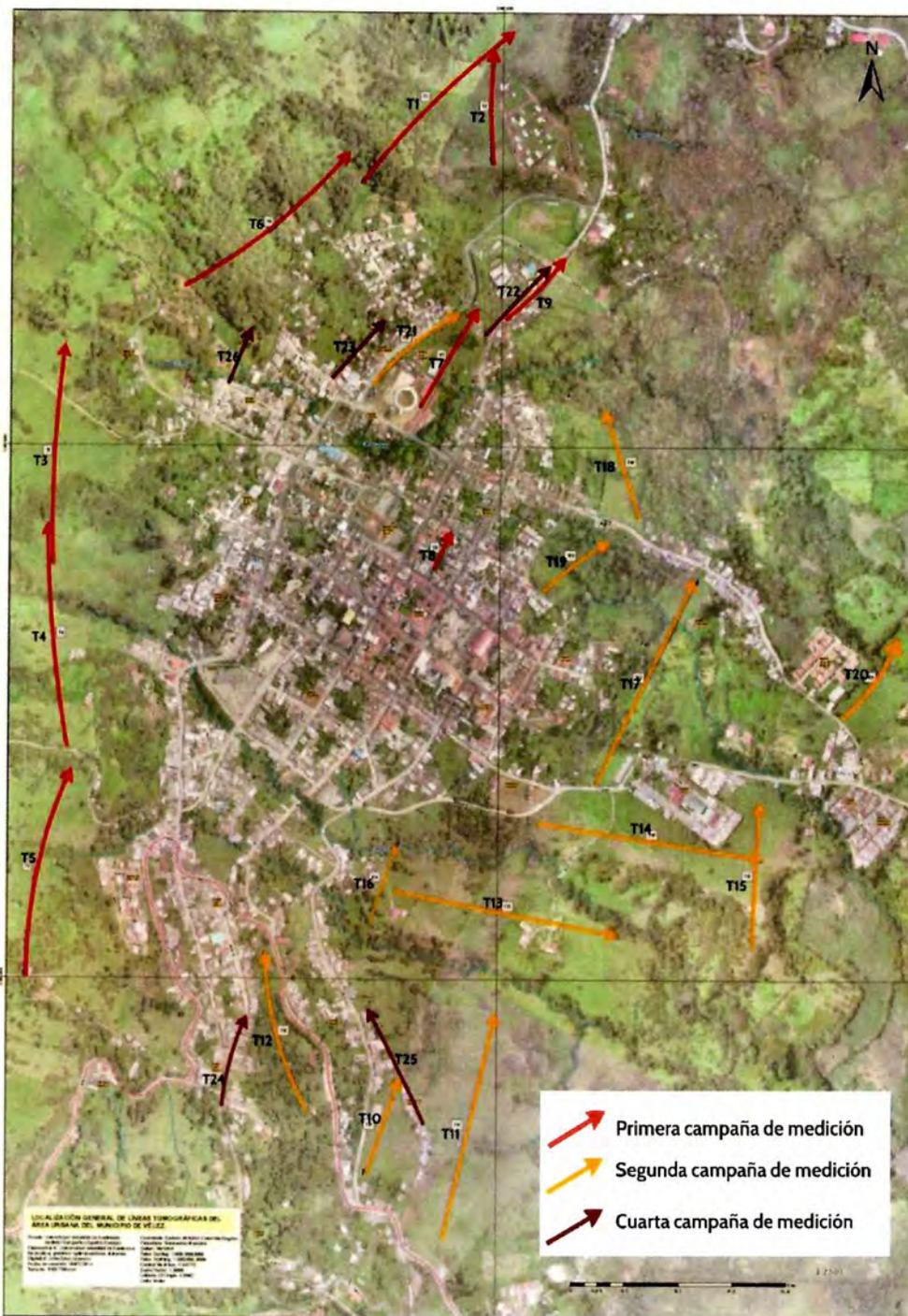
**Figura 4.** Vista de mediciones durante la campaña de levantamientos en Alto Jordán.

Izq: Levantamiento Tomografía AJ1. Der: Levantamiento Tomografía AJ3.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 5. Localización levantamientos en área urbana de Vélez.



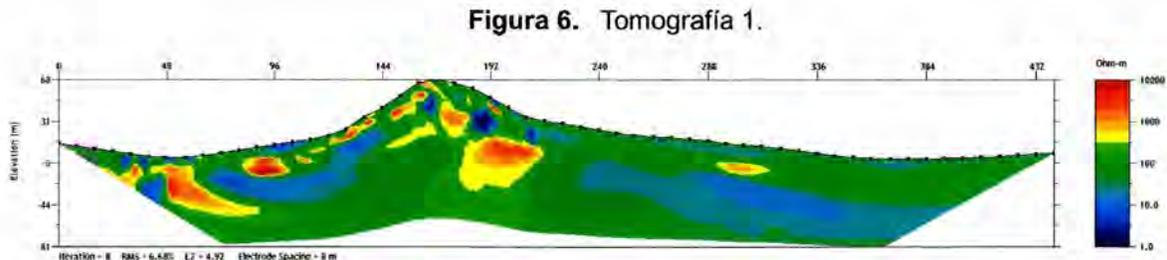
Fuente: Elaboración Propia

### 1.1.1.2 Perfiles de resistividad

A continuación se presentan los resultados gráficos de la prospección geoelectrica llevada a cabo en el Área Urbana de Vélez, y las estimaciones realizadas a partir de su análisis. Los tomogramas aquí presentados representan la distribución de la resistividad del subsuelo, la cual, no necesariamente coincide con la disposición estratigráfica, dado que el método se basa en la respuesta geoelectrica del suelo, la cual es susceptible a variaciones debido a las condiciones del mismo.

#### 1.1.1.2.1 Tomografía 1

La tomografía 1 se encuentra localizada en la parte norte del casco urbano de Vélez (figura 6), parte alta de los barrios Los Cerezos y Esperanza. Con una longitud de perfil tomográfico de 440 metros.

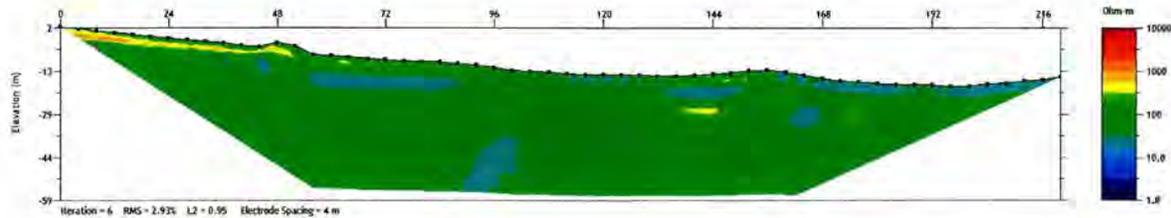


Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 50 y 200  $\Omega$ -m desde la parte alta de la montaña hasta la zona profunda de la medición. Probablemente debido a figuración de la roca. Se puede observar entre la abscisa 192 m a la 368 m predominancia de suelo coluvial inactivo. Predominancia de materiales con resistividades entre los 50 y 200  $\Omega$ -m desde la parte alta de la montaña hasta la zona profunda de la medición. Probablemente debido a fisuración de la roca. Con concentraciones de resistividades bajas (5 a 30  $\Omega$ -m) bien marcadas entre los electrodos 64 m al 144 m y 240 m al 384 m. Potenciales concentraciones de agua o material arcilloso húmedo o saturado. La presencia de resistividades entre los 20 a 30  $\Omega$ -m en la superficie entre los electrodos 352m a 400m coincide con el terreno húmedo visto en campo en la zona aledaña a la quebrada (electrodo 368m). Se aprecian materiales de resistividad 300 hasta 10000  $\Omega$ -m en la primera mitad del alineamiento. Posibles zonas de roca inalterada seca.

#### 1.1.1.2.2 Tomografía 2

La tomografía 2 se encuentra localizada en la parte norte del casco urbano de Vélez (figura 7), parte alta del barrio Los Cerezos y una longitud de perfil tomografía de 220 metros.

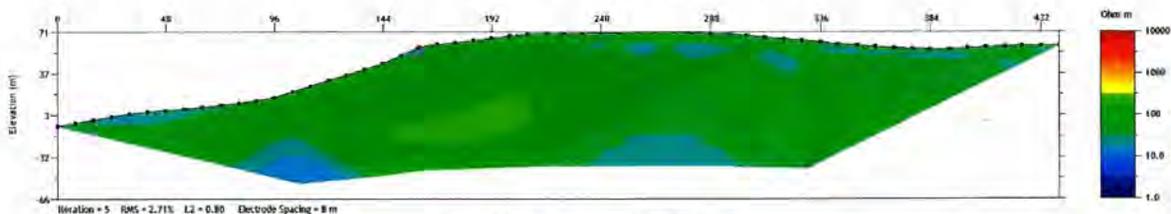
**Figura 7. Tomografía 2**

Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 30 y 150  $\Omega$ -m, sin variaciones bruscas de resistividad correspondiente a material de limolitas carbonáceas con tamaño de grano lodo en estado húmedo. Las zonas de baja resistividad (20-30  $\Omega$ -m) en la superficie coinciden con los flujos superficiales y zonas pantanosas apreciados en campo. Se observa una zona de resistividad entre los 30 y 50  $\Omega$ -m a 10m de profundidad en el área central de la imagen y a lo largo de la zona subsuperficial del alineamiento. Material bastante húmedo. Las pequeñas manchas de resistividad entre 300 y 500  $\Omega$ -m bajo el electrodo 144 m se estima, corresponden a fragmentos o bloques de roca.

### 1.1.1.2.3 Tomografía 3

La tomografía 3 se encuentra localizada en la parte occidental del casco urbano de Vélez (figura 8), parte alta de los barrio Kennedy y Aquileo Parra. Con una longitud de perfil tomográfico de 440 metros.

**Figura 8. Tomografía 3.**

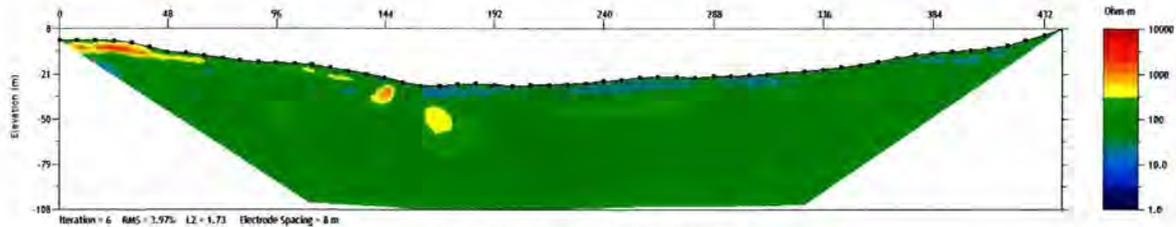
Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 30 y 150  $\Omega$ -m, sin variaciones bruscas de resistividad correspondiente a rocas limolita calcárea con tamaño de grano lodo en estado húmedo, sin embargo se observan zonas de resistividades bajas (20-30  $\Omega$ -m) entre las abscisas 16 m a la 72 m, 336 m a la 400 m correspondientes a zonas de alta humedad observadas en campo. Adicionalmente se aprecia unas zonas de alta humedad en las abscisas 264 m y 96 a unos 30 metros de profundidad aproximadamente.

#### 1.1.1.2.4 Tomografía 4

La tomografía 4 se encuentra localizada en sector occidental del casco urbano de Vélez (ver figura 9), parte alta de los barrios Aquileo Parra y América de Indias. Con una longitud de perfil tomográfico de 440 metros.

Figura 9. Tomografía 4



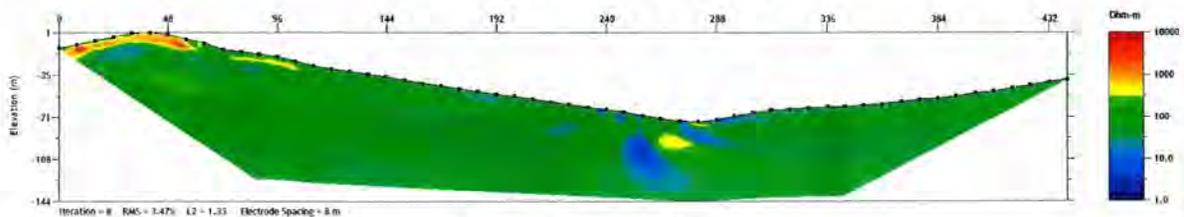
Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 50 y 150  $\Omega$ -m, sin variaciones bruscas de resistividad correspondiente a rocas limolita calcárea con tamaño de grano lodo en estado húmedo y algo fracturado, sin embargo se observan zonas de resistividades bajas (20-30  $\Omega$ -m) en el sector central del perfil, entre las abscisas 160 m a la 400 m, correspondientes a zonas de alta humedad observadas en campo. Se aprecia material con resistividades entre 300 y 1200  $\Omega$ -m entre los abscisas 96 m y 168 m, posiblemente corresponde a roca secas y superficialmente se observa materiales de alta resistividad (hasta 5000  $\Omega$ -m) entre los abscisas 0 m a 64 m, coincide con una capa de lutita poco meteorizada y seca observada en campo.

#### 1.1.1.2.5 Tomografía 5

La tomografía 5 se encuentra localizada en sector occidental del casco urbano de Vélez (figura 10), parte alta de los barrios Arrayanes y El Palenque. Con una longitud de perfil tomográfico de 440 metros.

Figura 10. Tomografía 5.



Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 30 y 100  $\Omega$ -m, sin variaciones bruscas de resistividad correspondiente a rocas limolita calcárea con tamaño de grano lodo en estado húmedo y algo fracturado, sin embargo se observan zonas de resistividades algo bajas (30-50  $\Omega$ -m) en el sector inicial y central del perfil y se aprecian dos concentraciones de muy baja resistividad (3-10  $\Omega$ -m) entre los abscisa 240 m a 288 m las cuales

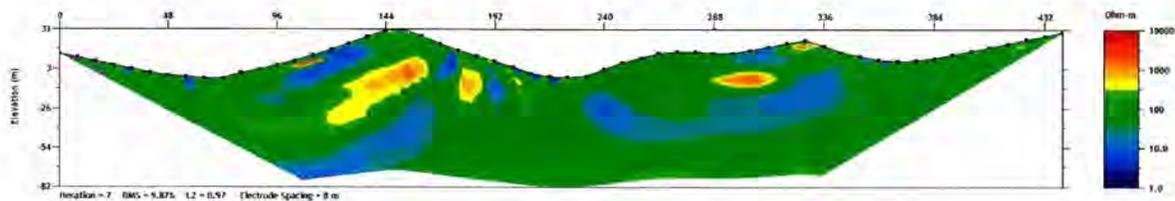
posiblemente corresponden a materiales saturados o concentraciones de agua subterránea.

En la misma zona se aprecian manchas de 300 a 500  $\Omega$ -m, corresponde a rocas secas. Se encuentran resistividades bastante altas (hasta 10000  $\Omega$ -m) en la superficie entre los abscisa 0 m a 56 m, que corresponden a rocas meteorizadas secas casi impermeables. Bajo esa zona de alta resistividad se aprecian valores de resistividad menores: entre 10 y 20  $\Omega$ -m, que muestran altos contenidos de humedad.

#### 1.1.1.2.6 Tomografía 6

La tomografía 6 se encuentra localizada en la parte norte del casco urbano de Vélez (Ver figura 11), parte alta del barrio Los Cerezos y la Esperanza. Con una longitud de perfil tomográfico de 440 metros.

Figura 11. Tomografía 6.

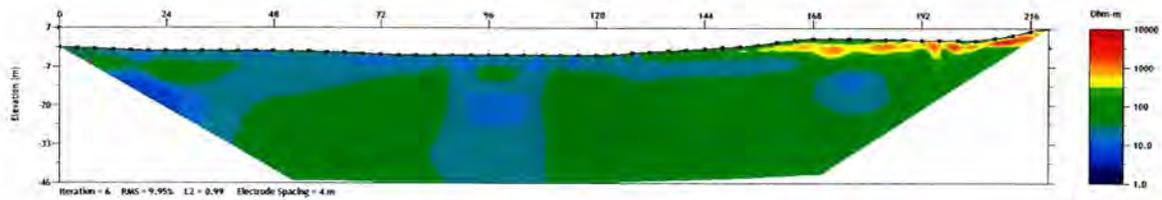


Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 30 y 200  $\Omega$ -m, correspondiente a rocas limolíticas calcáreas con tamaño de grano lodo en estado húmedo y algo fracturado. En la primera mitad del alineamiento predominan materiales entre los 100 y 200  $\Omega$ -m y resistividades entre los 30 y 100  $\Omega$ -m en la segunda mitad del alineamiento, terreno bastante húmedo, según lo observado en campo, sin embargo se observan zonas de resistividades algo bajas (5-20  $\Omega$ -m) entre los abscisa 104 m a 136 m en la parte superficial y en zonas profundas bajo los abscisa 240 m y 336m, las cuales posiblemente corresponden a materiales saturados o concentraciones de agua subterránea.

#### 1.1.1.2.7 Tomografía 7

La tomografía 7 se encuentra localizada en el Coliseo Vélez casco urbano de Vélez (Ver figura 12), parte central del barrio La Feria. Con una longitud de perfil tomográfico de 220 metros.

**Figura 12. Tomografía 7.**

Fuente: Elaboración Propia

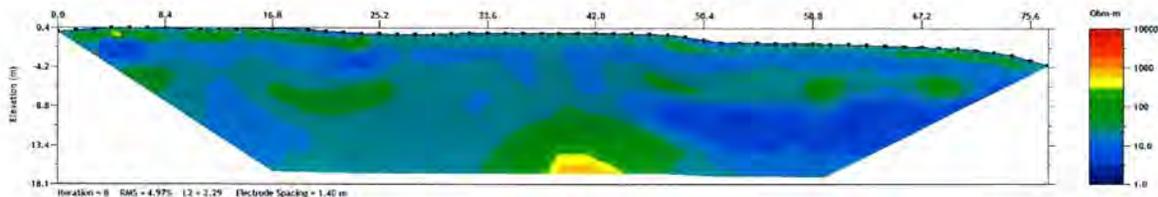
Se destacan 3 zonas de resistividades bajas: entre los 10 y 30  $\Omega$ -m, una bajo la abscisa 16m, otra bajo la abscisa 100 m y una más, bajo la abscisa 180m. Éstas coinciden según los lugareños, con la ubicación de los cauces que fueron rellenados para la construcción del coliseo de ferias. Las zonas intermedias tienen resistividad entre los 50 y 100  $\Omega$ -m.

El área entre las abscisas 12 m y 132 m presenta resistividades entre los 10 y 30  $\Omega$ -m, se presume que estos valores en la superficie se deben a la saturación por lluvia de la noche anterior a la medición. El material en esa zona corresponde al relleno de grava que conforma al suelo del coliseo.

Los valores de alta resistividad (hasta 5000  $\Omega$ -m bajo las abscisas 212m a 216m electrodo se estima, se deben a materiales propios del relleno; los demás valores de alta resistividad (500 a 3000  $\Omega$ -m) en la superficie desde la abscisa 160m hasta el final del alineamiento, corresponden a rocas meteorizadas secas.

### 1.1.1.2.8 Tomografía 8

La tomografía 8 se encuentra localizada en lote baldío entre calles 10 y 11 y entre carreras 3 y 4 casco urbano de Vélez (figura 13), en el barrio Las Nieves. Con una longitud de perfil tomográfico de 77 metros.

**Figura 13. Tomografía 8.**

Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividad entre los 20 y 30  $\Omega$ -m, con zonas (franjas) subsuperficiales de resistividad entre 10 y 20  $\Omega$ -m. Terreno muy húmedo.

Hay una concentración considerable de resistividades entre 3 y 20  $\Omega$ -m a 7m de profundidad aproximadamente desde el abscisas 43,4 m y hasta 77m. Que indican una zona saturada.

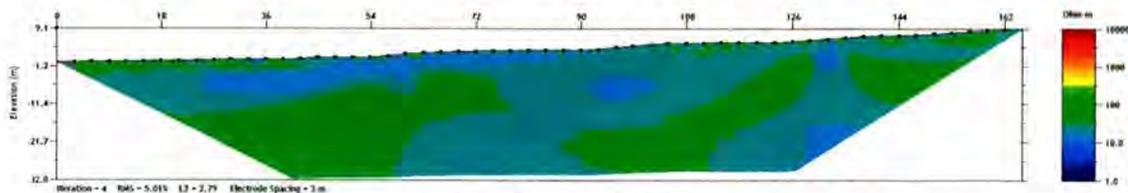
En el área central del Tomograma a 9 m de profundidad se aprecia una zona de resistividad entre los 100 y 1000  $\Omega$ -m, que bien pueden ser materiales rocosos secos.

Las pequeñas manchas con resistividades cercanas a 100  $\Omega$ -m a lo largo de la zona superficial del alineamiento corresponden a suelos residuales secos.

### 1.1.1.2.9 Tomografía 9

La tomografía 9 se encuentra localizada frente a la entrada del cementerio en el costado norte del casco urbano de Vélez (figura 14), en el barrio San Luis. Con una longitud de perfil tomográfico de 165 metros.

Figura 14. Tomografía 9.



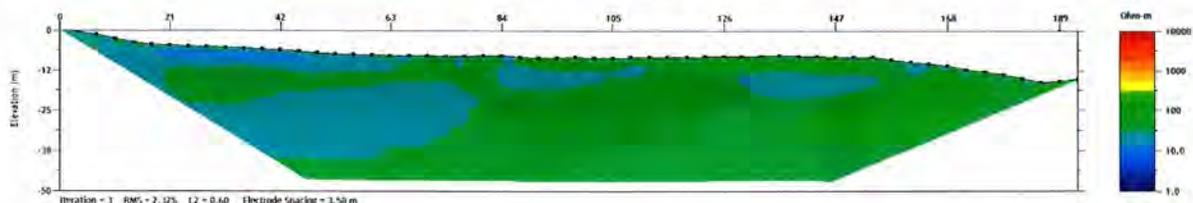
Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 10 y 30  $\Omega$ -m, correspondiente a rocas limolíticas calcáreas con tamaño de grano lodo en estado húmedo y muy fracturado, y materiales suelos finos, limo arcillosos húmedos a saturados sobre todo entre la abscisa 20 a la 90 superficialmente.

### 1.1.1.2.10 Tomografía 10

La tomografía 10 se encuentra localizada en la carrera 2 parte alta del barrio San Andresito en la parte sur del casco urbano de Vélez (figura 15). Con una longitud de perfil tomográfico de 192 metros.

Figura 15. Tomografía 10.



Fuente: Elaboración Propia

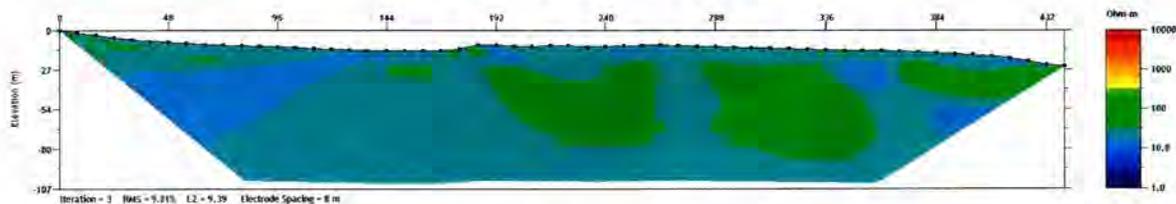
Predominancia de materiales con resistividades entre los 30 y 50  $\Omega$ -m, correspondiente a materiales suelos finos, limo arcillosos húmedos a saturados superficialmente de

origen aluvial y seguidos de rocas limolíticas calcáreas con tamaño de grano lodo en estado húmedo y muy fracturado. En el sector se evidenció mal manejo de aguas residuales en la zona de la medición: Entre las abscisas 24,5 m y 28 m pasa una zanja de origen natural ocasionada por el vertimiento de aguas residuales desde un tubo que termina en la carretera metros arriba del alineamiento. Entre las abscisas 49 y 52,5 pasa una zanja de origen antrópico. El agua de la primera zanja se riega e infiltra en todo el terreno, afectando la estabilidad del coluvión y el terreno de las viviendas metros abajo. Toda el agua infiltrada se traduce en las bajas resistividades (20 a 30  $\Omega$ -m) que se aprecian en la primera mitad del alineamiento (abscisas 0 m a la 80m).

#### 1.1.1.2.11 Tomografía 11

La tomografía 11 se encuentra localizada en la parte baja del barrio San Andresito en la parte sur del casco urbano de Vélez (figura 16). Con una longitud de perfil tomográfico de 440 metros.

Figura 16. Tomografía 11.

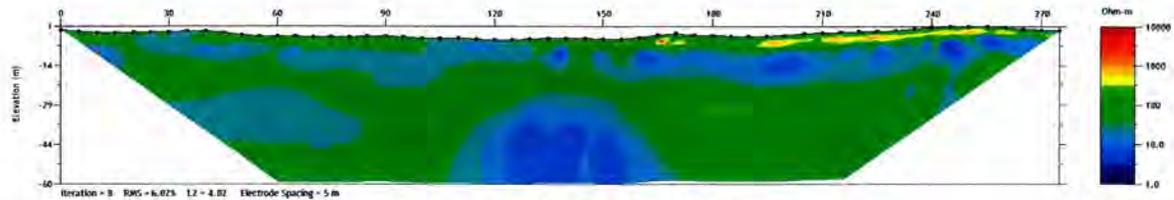


Fuente: Elaboración Propia

Coluvión delgado entre las abscisas 0 m a la 96 m y 160 m a 200 m. Suelo residual entre abscisas 200 m a la 440 m. La zona de bajas resistividades (10 a 20  $\Omega$ -m) en la superficie entre las abscisas 120m a 160m corresponde a un aljibe cubierto, se estima que los valores bajos de resistividad bajo esa zona corresponden a infiltración del agua en dicho aljibe. Concentraciones de la misma resistividad se encuentran bajo las abscisas 192 m y entre 240m a 280m y coinciden con el suelo muy húmedo visto en la zona. A pesar de que no había llovido los días anteriores a la medición, el terreno estaba muy húmedo a lo largo de todo el alineamiento.

#### 1.1.1.2.12 Tomografía 12

La tomografía 12 se encuentra localizada en el costado occidental del vía Vélez-Barbosa en la parte alta del barrio Ricaurte costado sur del casco urbano de Vélez (figura 17). Con una longitud de perfil tomográfico de 275 metros.

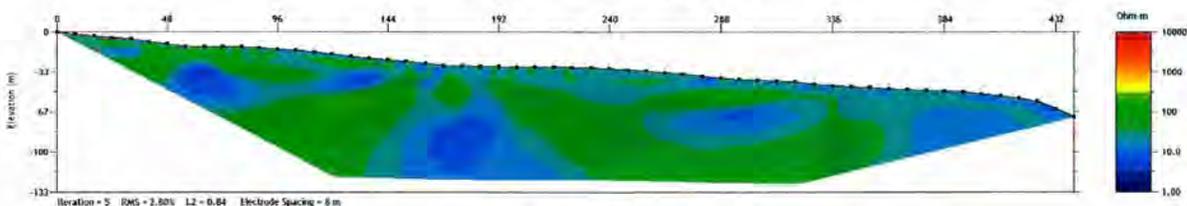
**Figura 17. Tomografía 12.**

Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 30 y 150  $\Omega$ -m, correspondiente a rocas limolíticas calcáreas con tamaño de grano lodo en estado húmedo y algo fracturado. Sector estabilizado mediante zanjas recubiertas en geomembrana y pantallas ancladas metros debajo de la medición, entre las abscisas 0 m a 102 m. Entre las abscisas 115 m a 125 m la medición se hizo sobre un aljibe cubierto. Las zonas de baja resistividad (20 a 30  $\Omega$ -m) bajo las abscisas 30 m y 65 m concuerdan con la presencia de material húmedo por las cunetas en el talud; igual concordancia se aprecia entre las abscisas 115 m a 125 m sobre el aljibe cubierto. Hay una concentración de gran tamaño en la zona central profunda del Tomograma con resistividades entre los 5 a 30  $\Omega$ -m, que corresponde a material saturado.

#### 1.1.1.2.13 Tomografía 13

La tomografía 13 se encuentra localizada en la parte baja del Barrio Ricaurte sector central entre las quebradas Palenque y Las Lajitas en la parte sur oriental del casco urbano de Vélez (Ver figura 18). Con una longitud de perfil tomográfico de 440 metros.

**Figura 18. Tomografía 13.**

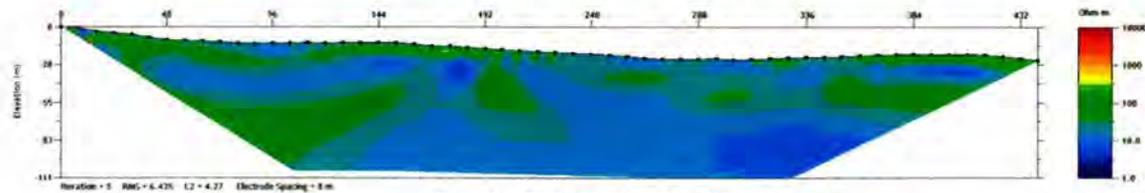
Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 10 y 150  $\Omega$ -m, correspondiente a rocas limolíticas calcáreas con tamaño de grano lodo en estado húmedo y algo fracturado. Superficialmente encontramos materiales finos de origen coluvial con resistividad entre los 30 a 50  $\Omega$ -m, material húmedo. Se aprecian varias zonas de baja resistividad (10 a 30  $\Omega$ -m) a profundidades de aproximadamente 15m; probablemente zonas saturadas por flujo entre fracturas de roca entre, las abscisas 336m hasta el final del alineamiento la resistividad es baja, debido a la humedad del terreno por su cercanía a la quebrada.

#### 1.1.1.2.14 Tomografía 14

La tomografía 14 se encuentra localizada en los Barrios la Cuadras y La Rosita, sector norte de la quebrada Palenque, en la parte oriental del casco urbano de Vélez (figura 19). Con una longitud de perfil tomográfico de 440 metros.

Figura 19. Tomografía 14.



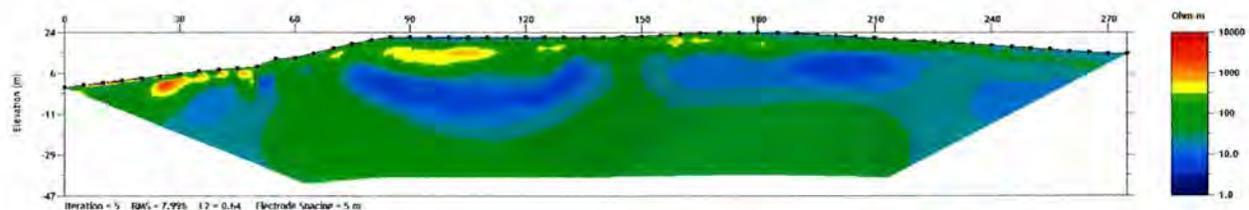
Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 10 y 100  $\Omega$ -m, correspondiente a rocas limolíticas calcáreas con tamaño de grano lodo en estado húmedo y algo fracturado. Superficialmente encontramos materiales finos de origen coluvial entre las abscisas 0 m a 328 m y suelo residual secos entre las abscisas 336 m a 440 m. La zona superficial entre las abscisas 240 m y 336 m, presenta bajas resistividades, lo que concuerda con la existencia de múltiples zanjas profundas con agua de drenaje en ese tramo del alineamiento.

#### 1.1.1.2.15 Tomografía 15

La tomografía 15 se encuentra localizada en la parte oriental del casco urbano de Vélez (figura 20), costado oriental del barrio La Rosita. Con una longitud de perfil tomográfico de 175 metros.

Figura 20. Tomografía 15.



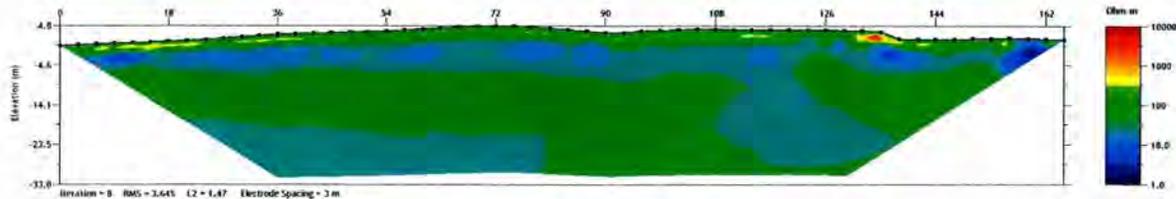
Fuente: Elaboración Propia

Resistividad variable a lo largo del alineamiento; En la zona superficial, entre las abscisas 0 m a 180m se aprecian zonas amarillas y naranjas (resistividad entre 300 y 1000  $\Omega$ -m), se estima corresponden a rocas limolíticas calcáreas secas y de baja meteorización. Las zonas profundas de baja resistividad (3 y 30  $\Omega$ -m) corresponden a material húmedo debido a filtración de agua a través de fracturas. Se aprecia concentración de estas resistividades al final del alineamiento, terreno muy húmedo en superficie.

### 1.1.1.2.16 Tomografía 16

La tomografía 16 se encuentra localizada en la parte baja del Barrio Ricaurte entre las quebradas Palenque y Las Lajitas en la parte sur oriental del casco urbano de Vélez (figura 21). Con una longitud de perfil tomográfico de 165 metros.

Figura 21. Tomografía 16.



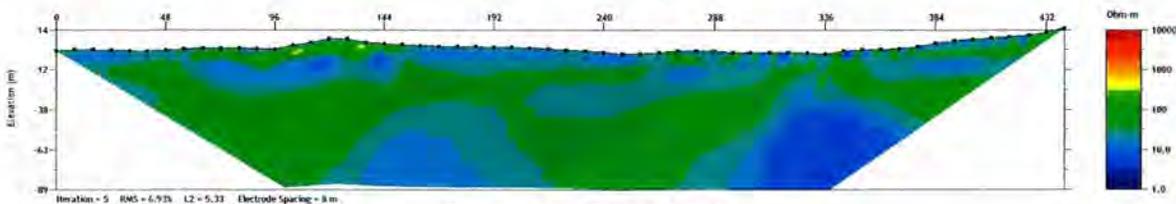
Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 30 y 100  $\Omega$ -m, correspondiente a rocas limolíticas calcáreas con tamaño de grano lodo en estado húmedo y muy fracturado. Se aprecia una acumulación de materiales con bajas resistividades al final del alineamiento, material saturado por su cercanía a la quebrada. Se aprecia una capa de material con resistividad entre los 10 y 30  $\Omega$ -m a una profundidad de aproximadamente 4.5 m lo largo de todo el alineamiento que pueden corresponder al contacto entre roca y suelo el cual presenta concentraciones de humedad alta.

### 1.1.1.2.17 Tomografía 17

La tomografía 17 se encuentra localizada en la parte baja del casco urbano de Vélez (figura 22), en el barrio Santander. Con una longitud de perfil tomográfico de 420 metros.

Figura 22. Tomografía 17.



Fuente: Elaboración Propia

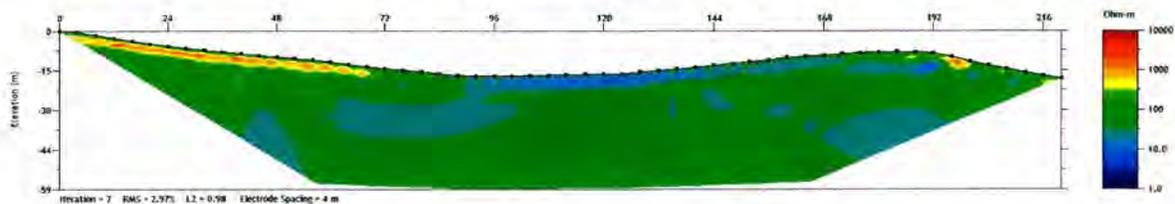
Predominancia de materiales con resistividades entre los 30 y 100  $\Omega$ -m, correspondiente a rocas limolíticas calcáreas con tamaño de grano lodo en estado húmedo y muy fracturado. Se presenta un sector de medición sobre zona muy húmeda superficialmente, y con evidencia mal manejo de aguas residuales en la zona central del alineamiento, entre las abscisa 144m a 264m (las aguas residuales fluyen libremente sobre el terreno, lo que reduce la resistencia del suelo) evidencia de materiales blandos y sobre la abscisa 344 m cruza una quebrada. Presencia de zonas de superficiales de baja resistividad (10 a 30  $\Omega$ -m) entre las abscisas 0 m a 48 m, correspondientes a flujo superficial debido a mal manejo de aguas lluvias según lugareños; entre 160 m a 216 m a zonas pantanosas por lo

observado en campo; entre las abscisas 216 a 288 m corresponden a flujos superficiales de aguas residuales. Las dos grandes formaciones profundas de baja resistividad, probablemente corresponden a posible material saturado por flujo de agua entre fracturas.

#### 1.1.1.2.18 Tomografía 18

La tomografía 18 se encuentra localizada en la parte baja del barrio San Luis costado sur de la quebrada Las Flores al Nor-oriente del casco urbano de Vélez (figura 23). Con una longitud de perfil tomográfico de 420 metros.

Figura 23. Tomografía 18.



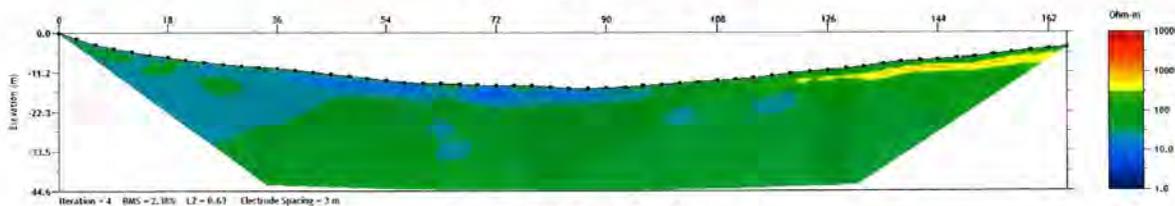
Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 30 y 100  $\Omega$ -m, correspondiente a rocas limolitas calcáreas con tamaño de grano lodo en estado húmedo y muy fracturado. Las bajas resistividades (5 a 20  $\Omega$ -m) en la zona central del alineamiento cerca de la superficie coinciden con la presencia de humedad por lo visto en campo. Hay concentraciones profundas entre los 20 a 30  $\Omega$ -m, posible material bastante húmedo. Los tonos en amarillo y naranja al inicio y final del alineamiento corresponden a material en estado seco.

#### 1.1.1.2.19 Tomografía 19

La tomografía 19 se encuentra localizada en la parte baja de la carrera 2 entre calles 11 y 12, en la parte alta del barrio Santander (figura 24). Con una longitud de perfil tomográfico de 165 metros.

Figura 24. Tomografía 19.



Fuente: Elaboración Propia

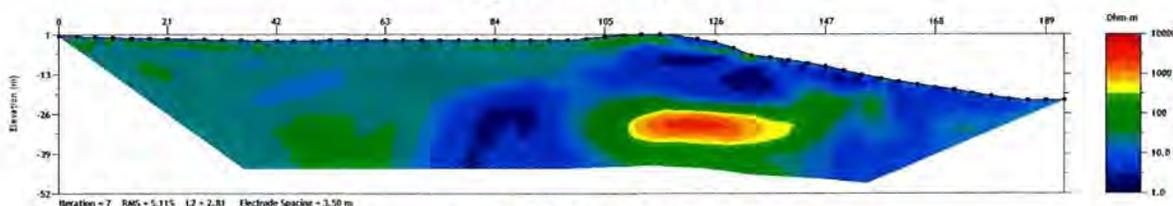
Predominancia de materiales con resistividades entre los 30 y 100  $\Omega$ -m, correspondiente a rocas limolitas calcáreas con tamaño de grano lodo en estado húmedo y muy fracturado. Las bajas resistividades (5 a 20  $\Omega$ -m) en la zona central del alineamiento cerca de la

superficie coinciden con la presencia de humedad por lo visto en campo. Hay concentraciones profundas entre los 20 a 30  $\Omega$ -m, posible material bastante húmedo. Los tonos en amarillo y naranja al inicio y final del alineamiento corresponden a material en estado seco.

#### 1.1.1.2.20 Tomografía 20

La tomografía 20 se encuentra localizada en parte baja de la urbanización Villa del Bosque en la parte oriental del casco urbano de Vélez (figura 25). Con una longitud de perfil tomográfico de 192 metros.

Figura 25. Tomografía 20.



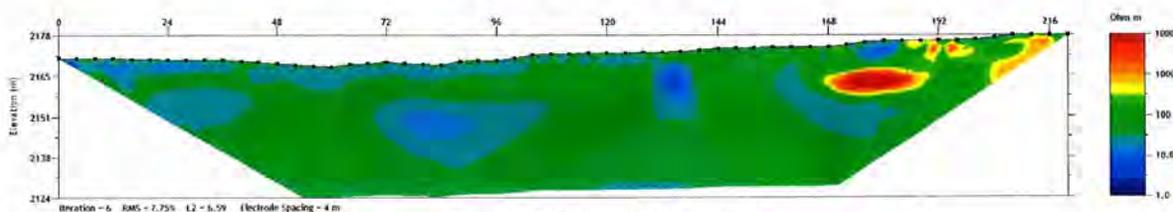
Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 20 y 30  $\Omega$ -m en la primera mitad del alineamiento; resistividades entre los 1 y 20  $\Omega$ -m en la segunda mitad. La zona central probablemente corresponde a material saturado por infiltración de agua a través de fracturas. Se aprecia una zona de resistividad alta (hasta 3453  $\Omega$ -m) que posiblemente corresponde a roca inalterada.

#### 1.1.1.2.21 Tomografía 21

La tomografía 21 se encuentra localizada en el costado oriental de la carrera 5 entre calles 12 y la cárcel en el barrio la feria (figura 26). Con una longitud de perfil tomográfico de 220 metros.

Figura 26. Tomografía 21.



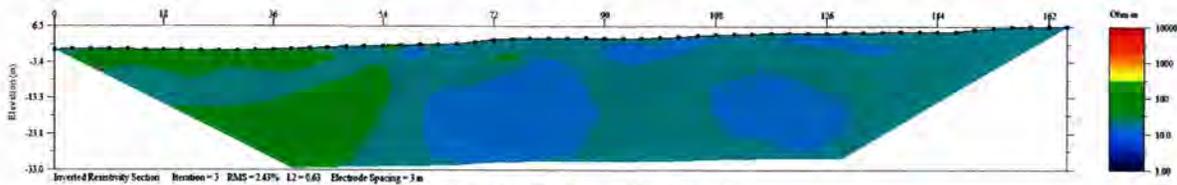
Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 10 y 100  $\Omega$ -m, correspondiente a rocas limolitas calcáreas con tamaño de grano lodo en estado húmedo y muy fracturado. Presencia de resistividades bajas (10 a 30  $\Omega$ -m) profundas entre las abscisas 24 m a 48 m, 120 m a 136 m y en la abscisa 160 m, muestran continuidad con las tres manchas de baja resistividad encontradas en la Tomografía 7.

### 1.1.1.2.22 Tomografía 22

La tomografía 22 se encuentra localizada junto a la cárcel municipal en la parte norte del casco urbano de Vélez (figura 27), en el barrio La Feria. Con una longitud de perfil tomográfico de 165 metros.

Figura 27. Tomografía 22.



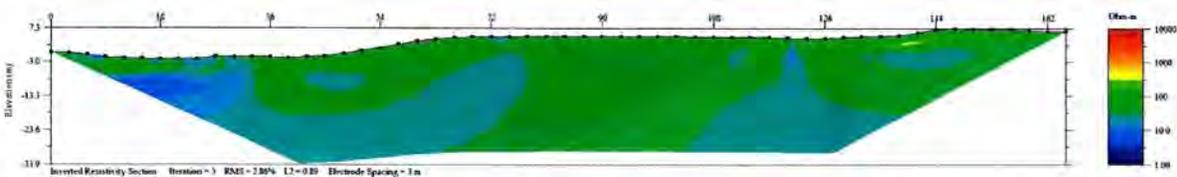
Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 10 y 100  $\Omega$ -m, correspondiente a rocas limolitas calcáreas con tamaño de grano lodo en estado húmedo y muy fracturado. La concentración de baja resistividad (10 a 20  $\Omega$ -m) entre las abscisas 54 a 90 m corresponde a filtraciones del pozo de inspección del alcantarillado localizado en esa zona o a los drenajes que fueron canalizados y sobre los cuales se construyeron las viviendas del sector y la cárcel.

### 1.1.1.2.23 Tomografía 23

La tomografía 23 se encuentra localizada aproximadamente 50 metros arriba de la carrera 6 entre calles 12 y 13 en el barrio La Esperanza (figura 28). Con una longitud de perfil tomográfico de 165 metros.

Figura 28. Tomografía 23.

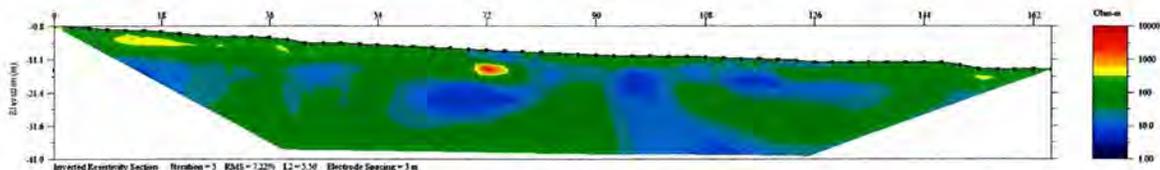


Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 10 y 100  $\Omega$ -m, correspondiente a rocas limolita calcárea con tamaño de grano lodo en estado húmedo y muy fracturado. Se aprecia una concentración de baja resistividad al inicio del alineamiento, se estima corresponde a filtraciones por la presencia de un tanque de almacenamiento de agua ubicado en esa zona.

### 1.1.1.2.24 Tomografía 24

La tomografía 24 se encuentra localizada en el costado sur del barrio Santa Teresa (Ver figura 29). Con una longitud de perfil tomográfico de 165 metros.

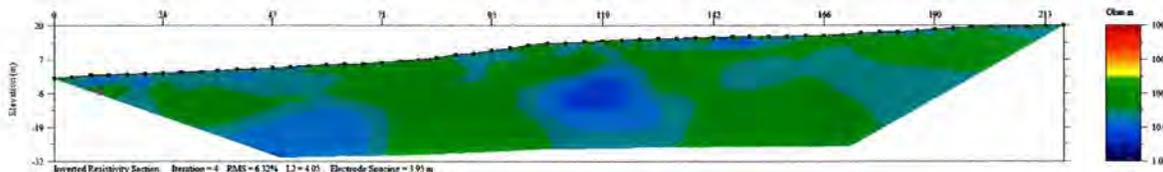
**Figura 29. Tomografía 24.**

Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 10 y 100  $\Omega$ -m, correspondiente a rocas limolitas calcáreas con tamaño de grano lodo en estado húmedo y muy fracturado. Se aprecian varias concentraciones de baja resistividad a lo largo del alineamiento que muestran materiales más húmedos que los circundantes.

#### 1.1.1.2.25 Tomografía 25

La tomografía 2 se encuentra localizada sobre la vía de acceso al barrio San Andresito (figura 30). Con una longitud de perfil tomográfico de 210 metros.

**Figura 30. Tomografía 25.**

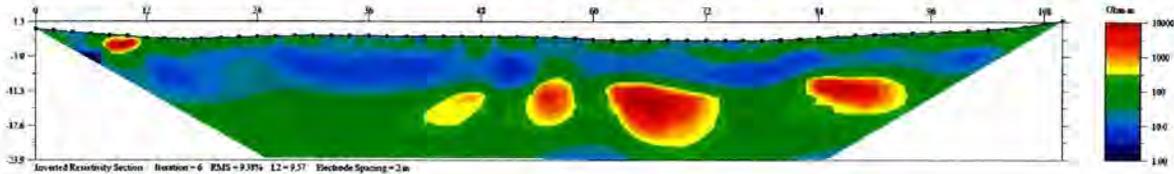
Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 10 y 100  $\Omega$ -m, correspondiente a rocas limolitas calcáreas con tamaño de grano lodo en estado húmedo y muy fracturado. Se aprecian dos concentraciones de baja resistividad, una bajo las abscisas 24 m a 73 m y otra entre las abscisas 103 m a 131 m que muestran materiales más húmedos que los circundantes.

#### 1.1.1.2.26 Tomografía 26

La tomografía 26 se encuentra localizada en la parte alta del Barrio Kennedy (antigua pista de Karts) costado occidental del municipio de Vélez (figura 31). Con una longitud de perfil tomográfico de 165 metros.

Figura 31. Tomografía 26.



Fuente: Elaboración Propia

Predominancia de materiales con resistividades entre los 10 y 100  $\Omega$ -m, correspondiente a rocas limolitas calcáreas con tamaño de grano lodo en estado húmedo y muy fracturado. La zona entre los 0 y 10 m de profundidad es bastante húmeda debido al mal drenaje del terreno. Se aprecian algunas concentraciones de alta resistividad (hasta 10000  $\Omega$ -m), se estima pueden coincidir con concreciones calcáreas secas que se observan en los afloramientos rocosos en toda la formación Paja.

### 1.1.2 Exploración por métodos directos

Con base en la información proporcionada por las tomografías, análisis geológico, geomorfológico y el inventario de viviendas afectadas, se determinaron los sitios de interés para la realización de la exploración geotécnica, mediante apiques, trincheras, perforaciones, etc.

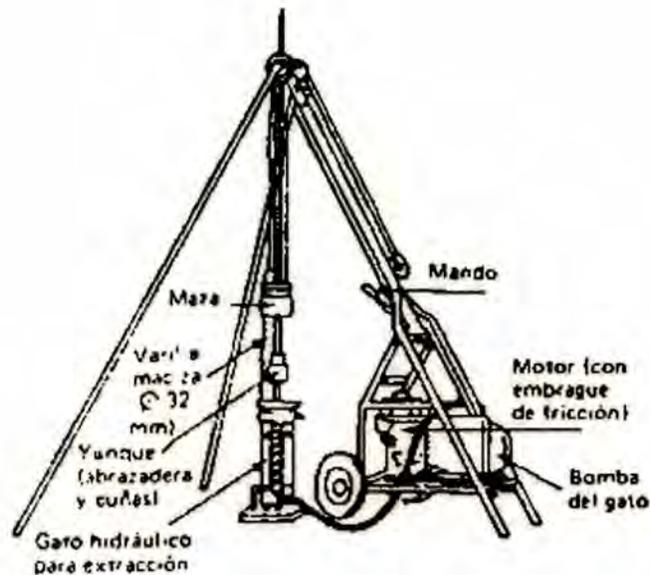
La profundidad de exploración en cada uno de los sondeos o perforaciones dependió del interés particular de cada sitio. Sin embargo, desde el punto de vista geológico, se consideró suficiente con determinar el nivel de afloramiento de la roca, penetrando en ella solo algunos metros, 3 a 5, dependiendo de su condición de meteorización y resistencia. Para efectos de la determinación de niveles o profundidades de zonas de flujo, se tomó como máxima profundidad de perforación, 20 metros.

Para la caracterización geotécnica del proyecto, se realizaron 50 sondeos equivalentes a 564 metros lineales (Anexos V-1 y V-2), distribuidos en exploraciones con profundidades variables entre 8 y 20 metros, empleando equipo de perforación a rotación con broca diamantada tamaño NQ de toma de muestras alteradas y toma-muestras de doble barril, realizando ensayos de penetración estándar (SPT) cada 50 centímetros (Normas ASTM D1586). En las perforaciones realizadas fueron instaladas tuberías de PVC para la realización de ensayos de tipo Slug-Test para el cálculo de permeabilidad in situ.

Los ensayos de penetración estándar propuestos se realizaron utilizando la norma ASTM D 1586, equivalente a la norma I.N.V.E. 111; el equipo utilizado (figura 32), tiene las siguientes especificaciones:

- Peso del martillo: 140 libras
- Altura de caída: 76 centímetros
- Penetración: 3 intervalos de 15 centímetros cada uno (6")
- N de diseño: Sumatoria de los golpes de los últimos 30 centímetros (12")
- Diámetro exterior del tubo: 50.8 mm.
- Diámetro interior del muestreador en la punta: 34.93 mm
- Longitud del tubo: 75 centímetros.
- Sistema de hincado: Malacate y polea.
- Equipo a roto-percusión.
- Rechazo: Más de 50 golpes para 15 centímetros (6").

**Figura 32.** Esquema general de equipo a roto-percusión



Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presenta cuadro resumen de la localización de los ensayos y la profundidad de cada uno de ellas:

**Tabla 1.** Localización de sondeos 1-20.

N° SONDEO	PROFUNDIDAD (M)	COORDENADAS		EQUIPO
		NORTE	ESTE	
1	20	1,156,787	1,045,054	Roto-percusión
2	10	1,156,837	1,045,102	Roto-percusión
3	4	1,154,973	1,044,753	Roto-percusión
4	10	1,157,088	1,045,061	Roto-percusión
5	10	1,157,083	1,045,002	Roto-percusión
6	10	1,157,131	1,044,970	Roto-percusión
7	10	1,157,251	1,045,030	Roto-percusión
8	20	1,157,297	1,045,075	Roto-percusión
9	10	1,157,629	1,044,999	Roto-percusión
10	20	1,157,411	1,044,996	Roto-percusión
11	10	1,157,307	1,044,939	Roto-percusión
12	10	1,157,186	1,044,731	Roto-percusión
13	10	1,156,999	1,044,693	Roto-percusión
14	20	1,156,971	1,044,572	Roto-percusión
15	10	1,157,312	1,044,800	Roto-percusión
16	20	1,157,385	1,044,778	Roto-percusión
17	10	1,157,208	1,044,601	Roto-percusión
18	14	1,155,172	1,044,709	Roto-percusión
19	18	1,157,166	1,044,870	Roto-percusión
20	10	1,157,143	1,044,501	Roto-percusión

Fuente: Elaboración Propia

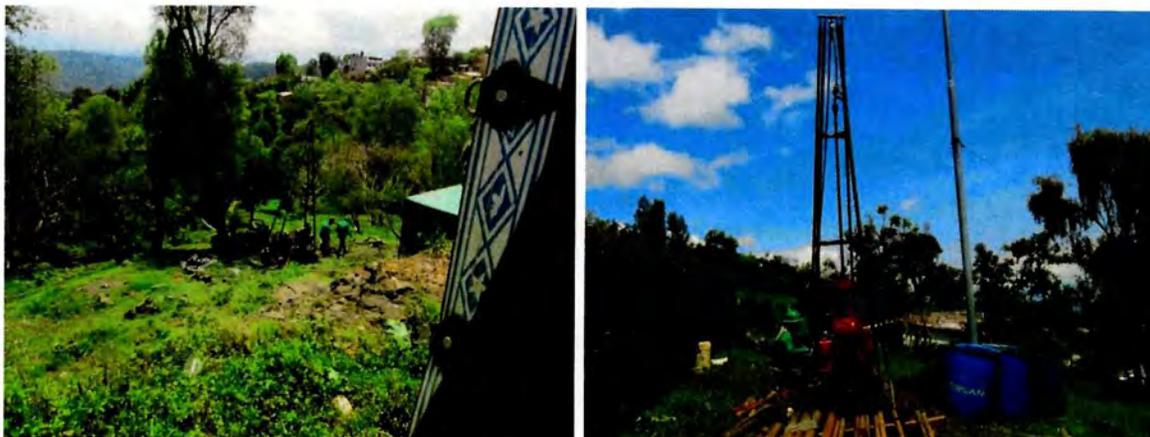


Tabla 2. Localización de sondeos 21-51.

N° SONDEO	PROFUNDIDAD (M)	COORDENADAS		EQUIPO
		NORTE	ESTE	
21	11	1,157,081	1,044,556	Roto-percusión
22	19	1,157,063	1,044,437	Roto-percusión
23	10	1,156,037	1,044,436	Roto-percusión
24	8	1,156,010	1,044,512	Roto-percusión
26	10	1,155,776	1,044,763	Roto-percusión
27	10	1,155,982	1,044,698	Roto-percusión
28	10	1,155,907	1,044,757	Roto-percusión
29	10	1,155,766	1,044,846	Roto-percusión
30	10	1,156,104	1,044,650	Roto-percusión
31	10	1,156,191	1,044,676	Roto-percusión
32	10	1,156,266	1,044,626	Roto-percusión
33	10	1,156,338	1,044,448	Roto-percusión
34	10	1,155,243	1,044,982	Roto-percusión
35	10	1,156,397	1,044,701	Roto-percusión
36	10	1,156,436	1,044,624	Roto-percusión
37	10	1,156,508	1,044,544	Roto-percusión
39	20	1,156,197	1,044,437	Roto-percusión
40	10	1,156,192	1,044,277	Roto-percusión
41	10	1,156,459	1,044,917	Roto-percusión
42	10	1,156,527	1,045,180	Roto-percusión
43	10	1,156,453	1,045,349	Roto-percusión
44	10	1,156,884	1,044,428	Roto-percusión
45	10	1,156,667	1,045,145	Roto-percusión
46	10	1,156,455	1,045,523	Roto-percusión
47	10	1,156,308	1,045,215	Roto-percusión
48	10	1,155,274	1,044,612	Roto-percusión
49	10	1,156,253	1,045,440	Roto-percusión
50	10	1,156,707	1,045,451	Roto-percusión
51	10	1,156,461	1,045,558	Roto-percusión

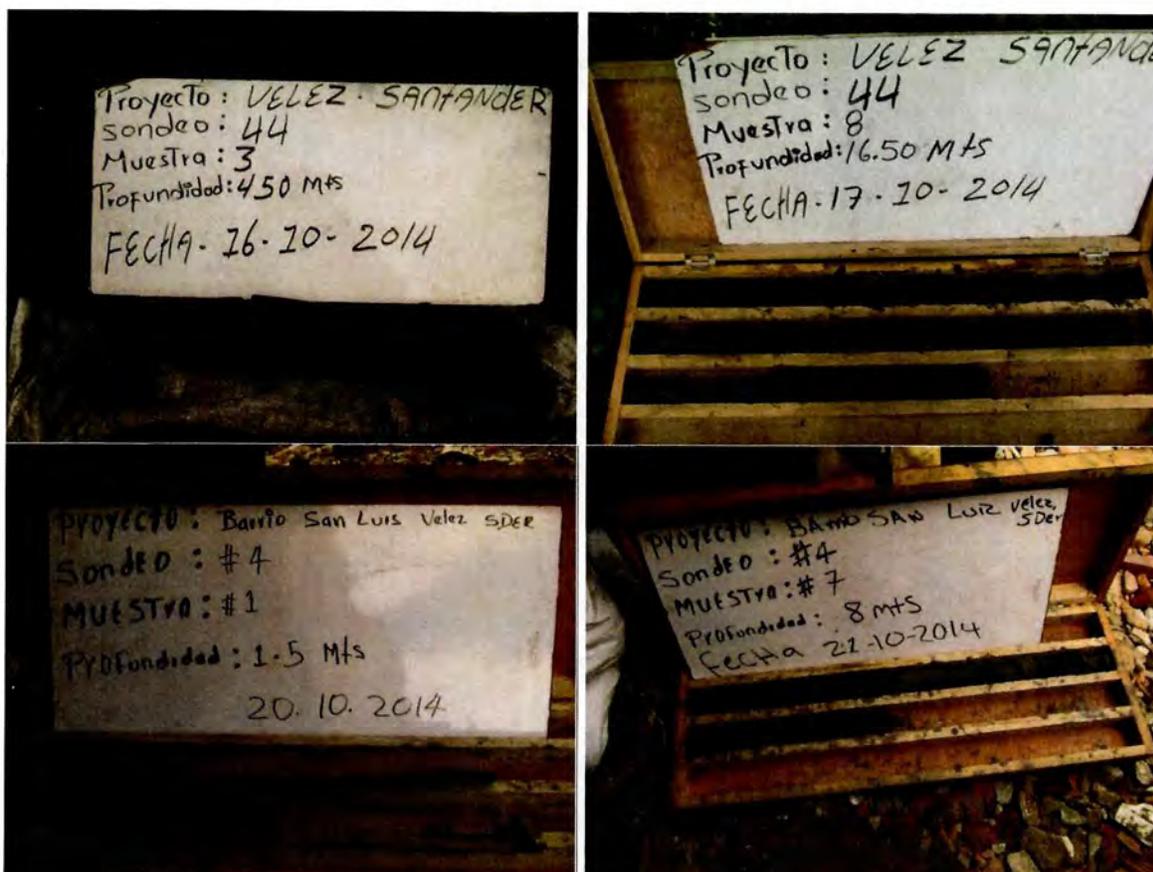
Fuente: Elaboración Propia

Figura 33. Vista general de sondeos.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 34. Vista general de muestras obtenidas en sondeos.



Fuente: Elaboración Propia

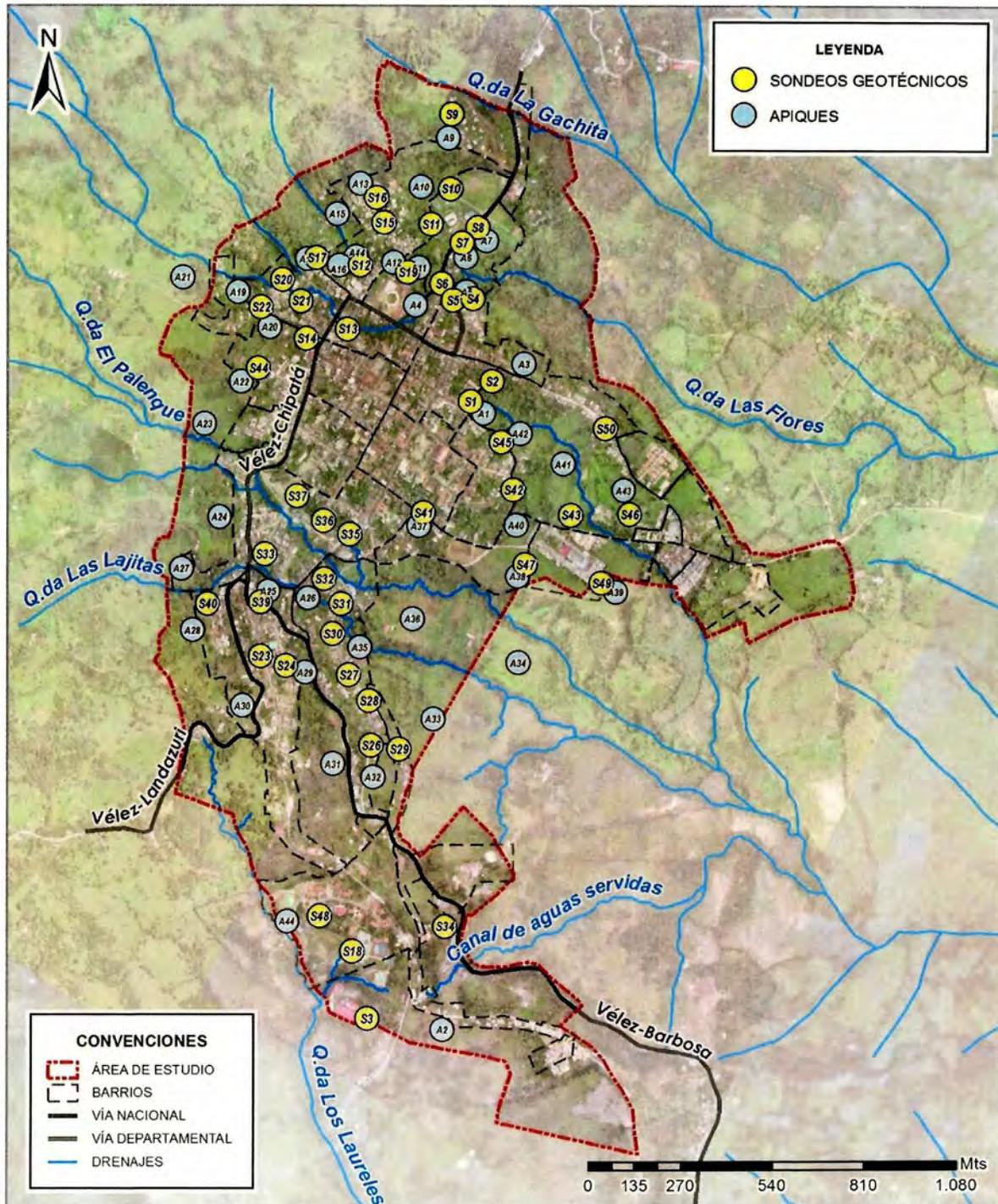
La investigación geotécnica involucró además, una exploración directa por sectores mediante apiques o trincheras, las cuales fueron realizadas a una profundidad entre 0.8 a 2.0 metros. En los sectores donde se requirió la toma de muestras inalteradas de las trincheras o apiques, se tomaron en tubos de PVC de 4.0 pulgadas, que fueron recubiertos con parafina para que la muestra permaneciera herméticamente cerrada y no se alteraran sus condiciones; fueron debidamente referenciadas. A continuación se presenta la tabla 3 en la que se indican las coordenadas aproximadas de los sitios donde se realizaron la toma de las muestras, así como algunas fotografías de la toma de muestras:

**Tabla 3.** Localización de apiques.

APIQUE	NORTE	ESTE	APIQUE	NORTE	ESTE
1	1,156,752	1,045,093	24	1,156,448	1,044,314
2	1,156,822	1,045,132	25	1,156,229	1,044,460
3	1,156,898	1,045,211	26	1,156,210	1,044,578
4	1,157,069	1,044,893	27	1,156,296	1,044,201
5	1,157,108	1,045,043	28	1,156,114	1,044,233
6	1,157,209	1,045,041	29	1,155,990	1,044,570
7	1,157,259	1,045,101	30	1,155,892	1,044,383
8	1,157,411	1,044,996	31	1,155,722	1,044,652
9	1,157,561	1,044,989	32	1,155,684	1,044,771
10	1,157,417	1,044,909	33	1,155,854	1,044,947
11	1,157,179	1,044,902	34	1,156,019	1,045,195
12	1,157,194	1,044,828	35	1,156,064	1,044,731
13	1,157,426	1,044,731	36	1,156,148	1,044,884
14	1,157,211	1,044,718	37	1,156,421	1,044,904
15	1,157,337	1,044,663	38	1,156,274	1,045,193
16	1,157,185	1,044,718	39	1,156,227	1,045,481
17	1,157,204	1,044,575	40	1,156,424	1,045,188
19	1,157,106	1,044,368	41	1,156,603	1,045,327
20	1,157,004	1,044,464	42	1,156,693	1,045,200
21	1,157,150	1,044,203	43	1,156,525	1,045,505
22	1,156,845	1,044,377	44	1,156,746	1,045,499
23	1,156,721	1,044,268	45	1,155,280	1,044,387
			46	1,155,248	1,045,017

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 35.** Localización de apiques y sondeos realizados para el casco urbano de Vélez (Plano U-20).



Elaboración Propia

**Figura 36. Vista general de apiques.**



Fuente: Elaboración Propia

### 1.1.3 Ensayos de laboratorio

Las muestras obtenidas en la exploración geotécnica fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Industrial de Santander y de Ingeniería y Suelos S.A.S. para su caracterización física y geomecánica. Esta caracterización en laboratorio se enfoca en la obtención de parámetros geotécnicos de suelos y rocas de tipo cuantitativo. Principalmente se pretende determinar aquellos parámetros necesarios para los posteriores análisis computacionales y estadísticos (propiedades índices y mecánicas). Para el caso de los parámetros geotécnicos se realizaron los siguientes ensayos: granulometría, límites de Atterberg, humedad, cortes directos, compresiones simples, pesos unitarios y consolidaciones.

En la tabla 4 se presenta un resumen de los ensayos que se realizaron a las muestras de suelos:

**Tabla 4.** Normas para la realización de ensayos de laboratorio.

ENSAYO	NORMAS
Análisis granulométrico por tamizado.	ASTM D422-63 – AASHTO T88 I.N.V.E. 123
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) en suelo, roca y mezcla de suelo-agregado.	ASTM D 2216 I.N.V.E. 122
Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.	ASTM D 4318 – AASHTO T 89-90 I.N.V.E. 126
Clasificación de suelos.	ASTM D 2487
Resistencia al Corte Directo saturado no drenado.	ASTM D 3080 – AASHTO T 236 I.N.V.E. 154
Peso unitario	ASTM D2937-71
Compresión inconfiada en muestras de suelos.	ASTM D 2166 – NLT 202 AASHTO T 208 I.N.V.E. 152

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en las Tabla 5 a 8 se presenta el resumen de los ensayos realizados de clasificación de suelos, a cada una de las muestras obtenidas en la exploración geotécnica.

**Tabla 5.** Resumen de ensayos de caracterización sondeos 1 al 7.

Sondeo	Prof. (m)	W%	% Finos	% Arenas	% Gravas	% L.L.	% L.P.	% I. P.	Clasificación S.U.C.S.
1	3	29.68	76.1	19.8	4.1	42.3	28.1	14.3	ML
1	5	22.84	71.3	26.8	2.0	45.5	30.5	15.0	ML
2	2	31.54	56.6	26.7	16.7	41.1	27.0	14.1	ML
2	2.5	17.84	85.5	14.2	0.3	41.9	26.3	15.9	ML
4	1.5	27.19	74.5	19.4	6.0	44.7	29.4	15.3	ML
4	3	41.37	82.3	16.7	1.0	53.4	34.3	19.1	MH
4	4	35.37	89.5	7.5	3.1	47.1	31.1	16.0	ML
4	4.8	28.14	75.1	13.2	11.7	47.9	26.7	21.2	CL
5	1.5	23.30	81.6	8.5	9.9	42.7	25.0	17.7	CL
5	3	20.27	89.3	6.6	4.1	56.4	29.0	27.4	CH
5	6.5	22.92	74.7	10.4	14.8	43.1	27.2	15.9	ML
5	8	21.04	74.4	16.4	9.2	47.8	27.2	20.6	CL
5	9	25.37	92.8	4.8	2.4	51.9	30.2	21.7	MH
6	2	30.12	82.1	17.2	0.8	47.5	31.3	16.1	ML
6	4	26.46	73.8	22.9	3.3	37.4	26.2	11.2	ML
6	5	21.07	71.2	20.8	8.0	43.0	29.0	14.0	ML
7	4	26.64	72.3	21.6	6.1	45.3	31.1	14.2	ML
7	5.5	30.38	90.9	9.0	0.1	44.6	26.4	18.1	CL
7	7	31.23	96.2	3.8	0.0	51.2	29.1	22.1	MH
7	8.5	20.72	66.5	30.9	2.6	34.3	22.5	11.8	CL

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 6.** Resumen de ensayos de caracterización sondeos 8 al 20.

Sondeo	Prof. (m)	W%	% Finos	% Arenas	% Gravas	% L.L.	% L.P.	% I. P.	Clasificación S.U.C.S.
8	2	42.95	95.1	4.4	0.4	45.2	29.9	15.3	ML
8	4	28.06	91.1	7.9	1.0	47.0	25.9	21.1	CL
8	5.5	32.92	96.4	3.4	0.2	54.5	29.3	25.2	CH
8	7	16.99	64.1	26.0	9.8	42.5	23.6	18.9	CL
8	8	12.60	79.2	20.0	0.8	33.8	21.6	12.2	CL
9	1.5	22.15	82.8	9.0	8.2	39.4	29.4	10.0	ML
9	2	10.87	25.1	70.0	4.9	N.L	N.P	-	SM
9	3.5	7.78	36.6	47.2	16.2	47.4	26.2	21.3	SC
10	2	38.29	94.7	5.2	0.1	50.5	33.5	17.0	MH
10	4	28.73	95.9	4.1	0.0	52.9	31.1	21.8	MH
10	13	30.22	94.6	5.3	0.1	46.0	28.9	17.1	ML
10	16	13.36	69.2	27.5	3.3	34.3	17.8	16.5	CL
11	1.5	12.86	68.4	26.6	5.0	35.8	26.9	8.9	ML
11	3	14.30	86.2	13.4	0.4	37.7	27.9	9.8	ML
11	4	13.99	71.6	27.0	1.4	33.1	27.1	6.0	ML
11	5	15.86	26.0	33.0	41.1	30.1	23.1	7.0	GM
12	1	17.28	75.8	16.6	7.6	35.2	27.2	8.1	ML
12	2	14.70	85.9	14.1	0.0	37.2	25.1	12.0	ML
13	2	28.26	68.5	23.6	7.9	36.6	23.7	12.9	CL
13	4	31.14	84.1	14.1	1.8	49.5	27.7	21.8	CL
13	6	29.74	76.0	8.4	15.5	50.4	28.3	22.2	MH
13	8	44.29	85.3	13.0	1.7	47.2	29.3	17.9	ML
13	10	42.26	89.1	9.2	1.7	52.2	29.0	23.2	MH
14	1	22.92	58.0	30.2	11.8	55.3	33.7	21.6	MH
14	2	26.65	73.7	23.4	2.9	35.5	24.8	10.7	ML
14	3.5	36.51	77.8	21.0	1.1	50.1	34.6	15.5	MH
14	5	27.83	89.9	9.2	0.9	44.9	24.4	20.5	CL
15	2	38.93	96.5	2.9	0.6	50.8	31.5	19.4	MH
15	3.5	29.87	88.0	8.9	3.1	42.8	28.8	13.9	ML
15	5	33.38	90.0	8.2	1.8	32.8	30.2	2.6	ML
16	2	27.35	53.2	36.8	10.0	38.9	30.4	8.5	ML
16	3	24.72	71.7	27.4	0.9	43.1	32.8	10.3	ML
16	5	9.61	53.8	40.2	6.1	33.1	25.3	7.9	ML
17	2	40.61	65.80	22.6	11.7	44.9	34.9	10.0	ML
17	4	27.07	85.8	12.8	1.4	41.7	27.0	14.6	ML
18	2.5	29.88	69.4	22.0	8.6	42.2	30.4	11.8	ML
18	4	22.67	78.5	19.1	2.3	44.8	32.5	12.3	ML
18	5.5	22.28	81.4	18.6	0.0	40.8	31.2	9.6	ML
18	7	24.08	84.0	15.1	0.8	45.8	33.2	12.5	ML
18	8.5	17.46	81.7	17.5	0.8	43.4	31.4	11.9	ML
19	2	30.13	84.5	11.8	3.7	46.2	29.4	16.8	ML
19	4	36.35	80.8	11.1	8.0	41.2	27.9	13.3	ML
19	5.5	32.41	71.2	19.3	9.5	47.8	26.5	21.3	CL
20	2	45.59	89.5	10.4	0.2	47.4	29.5	17.9	ML
20	4	26.92	86.1	13.4	0.5	52.5	25.6	26.9	CH
20	5.5	30.44	100.0	0.0	0.0	43.4	22.4	21.0	CL
20	7	38.49	93.3	6.7	0.0	43.2	23.1	20.1	CL
20	9	28.90	86.7	10.9	2.3	42.2	22.0	20.2	CL
20	9.5	14.63	87.4	8.8	3.9	42.1	24.3	17.7	CL

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 7.** Resumen de ensayos de caracterización sondeos 21 al 35.

Sondeo	Prof. (m)	W%	% Finos	% Arenas	% Gravas	% L.L.	% L.P.	% I. P.	Clasificación S.U.C.S.
21	2	41.99	87.4	12.6	0.0	47.0	30.5	16.5	ML
21	3.6	33.77	88.3	11.4	0.3	53.1	30.8	22.3	MH
21	6.5	19.92	76.1	17.6	6.3	42.8	26.9	15.9	ML
21	10	21.84	77.9	15.8	6.2	42.7	26.2	16.5	ML
22	2	27.62	80.5	16.5	3.0	42.5	25.6	16.9	CL
22	3.5	26.70	85.0	14.6	0.3	41.8	25.1	16.7	CL
22	5	25.66	79.6	18.7	1.6	33.1	25.9	7.2	ML
22	6	21.07	87.5	12.2	0.3	35.4	25.6	9.8	ML
23	3	41.40	89.3	6.9	3.9	47.1	29.8	17.3	ML
23	4.5	16.76	47.5	47.4	5.1	32.8	24.3	8.6	SM
24	2	16.90	64.5	30.5	5.0	36.1	27.0	9.1	ML
26	2	15.44	43.6	36.0	20.4	35.7	23.6	12.2	SC
26	4	17.40	40.3	49.6	10.1	27.8	23.2	4.6	SM
26	8.5	30.96	17.5	76.6	5.9	N.L	N.P	-	SM
26	9.5	10.53	62.2	33.1	4.7	33.7	23.2	10.5	CL
27	4	26.36	75.6	19.5	4.9	37.7	25.5	12.1	ML
27	5.5	26.32	83.6	14.2	2.2	40.0	25.9	14.2	ML
27	6.5	21.28	79.8	19.9	0.4	35.5	21.9	13.6	CL
27	8	19.63	57.3	41.1	1.6	38.0	20.3	17.7	CL
27	10	19.80	60.3	39.0	0.8	42.4	20.9	21.5	CL
28	3.5	35.63	71.8	25.7	2.5	48.2	34.9	13.3	ML
28	5.5	15.99	48.9	46.1	5.0	32.2	25.9	6.3	SM
28	7	13.64	37.4	60.8	1.8	32.0	26.6	5.4	SM
28	8.5	18.74	72.1	27.7	0.1	36.2	26.3	9.8	ML
28	10	23.84	78.4	21.2	0.4	37.5	24.7	12.8	CL
28	11.5	24.29	65.3	33.8	0.9	38.5	29.4	9.1	ML
29	3	27.35	68.0	30.0	2.0	36.1	25.8	10.2	ML
29	5.5	22.96	69.1	30.6	0.3	36.7	24.3	12.4	CL
29	7	24.27	70.6	29.4	0.0	39.5	26.0	13.5	ML
29	8.5	19.47	75.5	24.5	0.0	38.9	24.4	14.4	CL
30	2	11.38	54.2	43.9	1.9	40.0	26.1	13.9	ML
31	2	22.30	70.5	26.5	3.1	37.0	24.6	12.4	ML
31	3	10.03	54.3	32.9	12.8	30.8	21.5	9.3	CL
32	2	20.50	83.3	4.2	12.4	49.0	28.8	20.2	ML
32	3	21.06	80.2	15.7	4.1	47.4	28.3	19.1	ML
33	1	25.95	91.3	8.1	0.6	49.6	28.3	21.3	ML
33	3	15.36	24.8	66.8	8.4	N.L	N.P	-	SM
34	2	20.99	12.7	72.9	14.4	N.L	N.P	-	SM
34	3.5	20.92	77.0	22.6	0.5	44.7	31.3	13.4	ML
34	5	29.99	90.4	8.8	0.8	46.9	30.9	16.1	ML
34	6.5	23.22	78.8	16.6	4.6	37.1	28.1	8.9	ML
34	8	15.55	57.0	39.4	3.5	42.9	30.7	12.1	ML
34	10	26.41	78.1	20.6	1.4	43.8	29.9	13.9	ML
35	2	36.78	92.4	7.6	0.0	51.4	29.5	21.8	MH
35	4	19.51	64.7	25.6	9.7	39.0	22.1	16.8	CL
35	7	22.15	74.3	14.3	11.3	42.4	22.1	20.3	CL
35	8	24.41	95.7	3.6	0.7	46.6	23.3	23.3	CL
35	9	15.57	78.6	16.3	5.1	39.2	21.0	18.2	CL

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 8.** Resumen de ensayos de caracterización sondeos 36 al 51.

Sondeo	Prof. (m)	W%	% Finos	% Arenas	% Gravas	% L.L.	% L.P.	% I. P.	Clasificación S.U.C.S.
36	3.5	22.47	84.9	13.8	1.2	41.0	19.6	21.5	CL
36	5.5	41.70	92.0	8.0	0.0	53.2	30.7	22.5	MH
37	2	24.08	73.9	21.6	4.4	54.7	32.0	22.7	MH
37	4	19.67	76.3	16.3	7.3	49.3	29.8	19.5	ML
39	2	25.60	69.0	29.0	2.0	41.0	31.5	9.5	ML
39	4	37.34	87.7	8.2	4.1	52.3	33.8	18.6	MH
39	6	44.45	91.3	7.4	1.3	49.8	33.1	16.7	ML
39	5	41.30	95.9	3.6	0.6	51.9	34.1	17.7	MH
39	6.2	36.33	94.3	5.7	0.0	53.4	33.0	20.4	MH
39	11	16.18	24.4	70.4	5.2	N.L	N.P	-	SM
40	2	55.21	93.4	5.1	1.5	53.7	35.4	18.3	MH
40	4	33.72	90.7	9.2	0.1	53.9	29.8	24.2	MH
41	2	22.82	89.7	7.2	3.2	55.6	32.8	22.8	MH
41	4	14.21	89.9	10.1	0.0	52.3	28.1	24.1	CH
42	1	15.14	25.6	71.9	2.5	N.L	N.P	-	SM
43	2	29.25	93.5	5.5	1.0	68.9	36.1	32.8	MH
43	3.5	30.38	92.8	6.6	0.6	40.9	26.9	14.1	ML
43	6	21.54	73.7	25.7	0.6	44.1	23.8	20.3	CL
43	7	22.04	90.3	9.7	0.0	38.8	22.8	16.0	CL
44	2	39.29	81.7	15.1	3.2	54.1	31.2	22.9	MH
44	3	24.26	93.0	6.9	0.1	32.1	20.4	11.6	CL
45	2	14.01	81.7	14.4	3.9	45.1	32.7	12.4	ML
45	2.5	16.74	77.6	21.8	0.6	55.2	32.3	22.9	MH
46	2	25.21	75.1	20.7	4.2	40.3	27.0	13.4	ML
46	3.5	21.09	60.1	39.9	0.0	34.5	27.1	7.5	ML
46	5	27.36	59.5	40.5	0.0	32.2	28.1	4.1	ML
46	6.5	34.27	74.4	24.3	1.3	41.2	35.9	5.3	ML
46	7	18.86	73.7	25.2	1.2	40.0	27.6	12.3	ML
47	2	35.15	90.6	9.1	0.3	57.4	38.1	19.3	MH
47	5	38.73	92.7	5.9	1.4	65.9	34.5	31.4	MH
47	7	46.55	91.4	6.1	2.5	59.2	34.3	24.8	MH
47	8.5	55.88	94.5	5.2	0.4	60.6	32.9	27.8	MH
48	2	23.87	58.4	34.6	7.0	38.5	28.5	9.9	ML
48	3.5	25.17	12.8	76.1	11.2	N.L	N.P	-	SM
48	5	58.91	55.8	34.7	9.5	57.1	47.2	9.9	MH
48	6.5	28.17	76.1	22.8	1.1	47.8	32.9	14.9	ML
48	7.5	26.78	79.1	20.0	0.9	40.3	27.7	12.6	ML
49	2	28.23	43.5	23.3	33.2	43.8	33.9	9.9	GM
49	4	15.93	71.9	23.2	4.9	40.6	24.9	15.7	CL
50	2	45.06	86.4	9.3	4.3	48.5	41.6	6.9	ML
50	3.5	24.06	70.4	29.6	0.0	35.9	26.8	9.1	ML
50	4.5	21.37	68.5	30.6	0.9	33.4	26.1	7.3	ML
50	5	32.94	76.1	23.6	0.3	40.5	29.2	11.3	ML

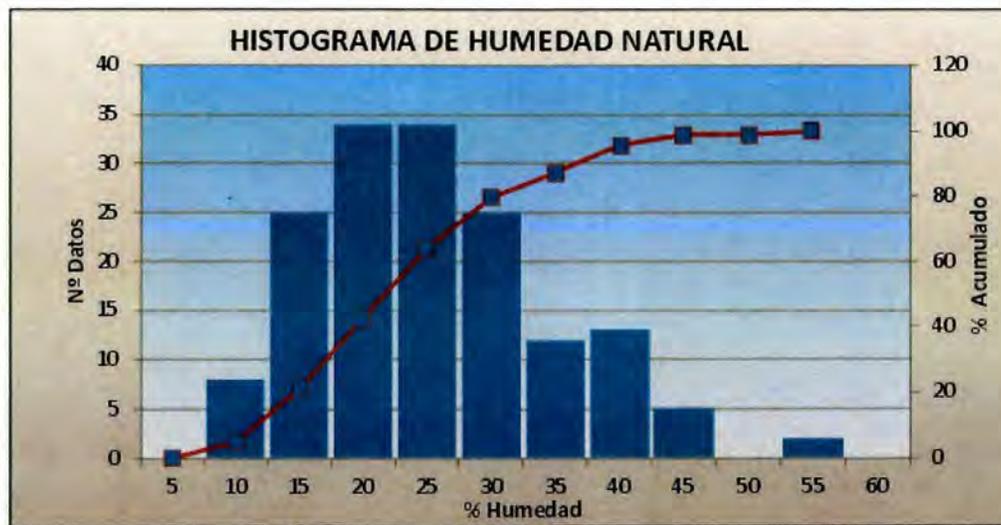
Fuente: Elaboración Propia

### 1.1.3.1 Ensayo de humedad

Consiste en la determinación en condiciones de laboratorio, del contenido de agua (humedad) de suelo expresado en peso. El contenido de agua del material se define según la norma ASTM D 2216 e INV E-122.

Los datos de humedad obtenidos, arrojaron humedades que oscilan entre el 5 y 60%, siendo más frecuentes los valores entre a 20 y 30% (figura 37).

Figura 37. Histograma de humedad.

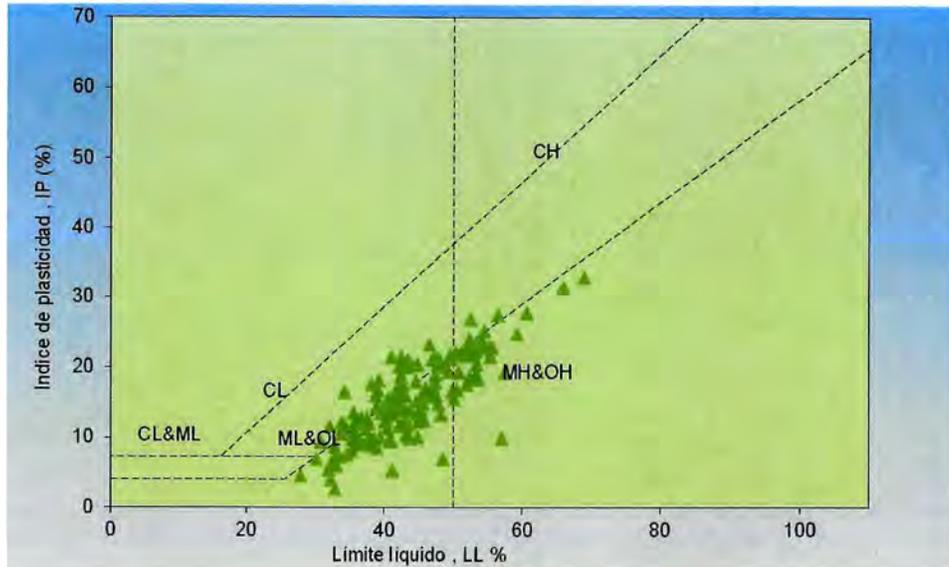


Fuente: Elaboración Propia

### 1.1.3.2 Límites de Atterberg:

Una vez obtenidos los datos de la fracción fina en los suelos, se generó la carta de plasticidad de la Figura 34, en la que se puede observar que la mayoría de los suelos corresponden a limos y arcillas de baja a media-alta plasticidad, con límite líquido entre 28 y 70%, límite plástico entre 17 y 47% e índice de plasticidad entre 2 y 32%.

**Figura 38. Carta de plasticidad.**



Fuente: Elaboración Propia

### 1.1.3.3 Ensayos de corte directo

Los modelos de estabilidad deben probar que los esfuerzos solicitantes sean menores que la resistencia natural del terreno para garantizar la estabilidad del sector. Los ensayos de corte directo permiten conocer la resistencia natural, esto se logra al incrementar el esfuerzo gradualmente hasta inducir la falla del material. Luego, los resultados del ensayo se comparan con las solicitaciones que se espera soporte el material en campo.

Por medio de la relación entre el esfuerzo cortante y el esfuerzo normal dados por el ensayo, se determinaron los parámetros ángulo de fricción interna y cohesión para la condición saturada y no drenada, que fueron de mucha utilidad en la verificación de la capacidad portante de los suelos. Las muestras se llevaron a falla para obtener los parámetros de resistencia pico y residual. Los resultados obtenidos aparecen en la tabla 9 a continuación:

**Tabla 9.** Resultados ensayos de Corte Directo.

APIQUE Nº	Prof. (m)	FRICCION (°)	COHESION (KN/M2)	FRICCION RESIDUAL (°)	COHESION RESIDUAL (KN/M2)
1	1.0	23.70	42.45	19.30	32.92
2	1.0	28.50	37.03	22.80	30.90
4	1.0	16.20	37.75	9.60	29.57
5	1.0	27.00	37.39	18.30	33.57
6	1.0	16.80	41.50	10.20	31.60
7	1.0	17.90	55.00	10.20	38.60
8	1.0	18.60	34.63	12.40	30.60
9	1.0	29.8	50.30	21.80	46.66
10	1.0	20.20	47.07	17.20	40.04
11	1.0	17.90	21.60	15.10	15.18
12	1.0	16.50	47.30	13.00	33.10
14	1.0	24.60	46.60	19.80	39.50
15	1.0	20.20	23.40	19.30	13.40
16	1.0	21.00	48.04	15.60	31.40
17	1.0	27.80	37.00	15.10	33.80
19	1.0	11.90	41.74	10.20	28.80
20	1.0	16.60	46.70	13.50	32.40
21	1.0	28.30	37.60	25.20	27.70
22	1.0	29.40	40.58	19.30	28.42
23	1.0	22.80	32.60	20.30	20.24
24	1.0	20.80	34.40	19.30	29.61
25	1.0	30.20	30.27	23.30	28.60
27	1.0	21.10	32.80	20.30	25.50
29	1.0	16.80	41.50	10.20	31.60
30	1.0	16.20	44.80	11.30	33.10
31	1.0	11.50	27.20	10.20	17.24
32	1.0	5.90	49.10	4.60	45.50
33	1.0	28.3	30.50	17.20	30.00
35	1.0	17.60	48.80	22.30	24.10
37	1.0	22.90	39.96	15.10	36.48
40	1.0	22.00	50.26	20.80	36.30
41	1.0	18.90	48.20	11.90	38.90
42	1.0	6.10	36.70	5.70	27.10
43	1.0	28.10	38.80	22.80	31.61
45	1.0	9.10	31.70	7.40	29.20
46	1.0	6.40	53.32	6.30	39.92

Fuente: Elaboración Propia

### 1.1.3.4 Ensayo de presión de expansión

El término suelo expansivo indica no sólo la tendencia a aumentar el volumen por absorción de agua, sino también a presentar retracción o contracción al secarse. Es conveniente distinguir entre el potencial de expansión del suelo y la expansión real que puede tenerse en un caso determinado, el cual depende de la magnitud de su variación en el contenido de agua. Cuando el hinchamiento del material es impedido por cargas de confinamiento, el resultado es una presión que el suelo ejerce hacia arriba, que puede ser del orden de varios kg/cm<sup>2</sup>. El cambio en volumen de una arcilla produce no solo empujes verticales sobre una estructura cimentada, sino también en sentido horizontal; tales fuerzas ocasionan daños en muros y pisos de edificaciones así como en tuberías enterradas.

Figura 39. Vista general de ensayos de presión de expansión.



Fuente: Elaboración Propia

El ensayo de presión de expansión se realizó en el llamado Aparato de Lambe. Los parámetros a tenerse en cuenta fueron la carga del anillo, el esfuerzo normal en Kg/m<sup>2</sup> y el área. La carga se determinó a partir del diámetro de los anillos y el esfuerzo normal con los pesos de los mismos. Se tomaron las lecturas respectivas para cada muestra de suelo de la presión de expansión (Mpa) que iba ejerciendo cada una en un determinado periodo de tiempo; para el caso particular de los suelos de Vélez, se consideraron tres días con lecturas cada 6 horas. Los datos se integraron para dar como resultado la presión de expansión total, cuyos resultados se presentan en la tabla 10.

**Tabla 10.** Resultados ensayos de presión de expansión.

APIQUE	PRESION DE EXPANSION (MPa)
3	0.096
11	0.068
32	0.056

Fuente: Elaboración Propia

Estas presiones de expansión se consideran bajas cuando se comparan con valores que presentan suelos con características de expansión medias y altas.

#### 1.1.3.5 Ensayo de compresión simple en muestras de roca

El ensayo de compresión simple o compresión uniaxial, permite obtener un valor de la carga última del suelo o de la roca ensayada, que puede utilizarse en el modelamiento.

**Figura 40.** Vista general de ensayos de compresión simple.



Fuente: Elaboración Propia

De las curvas de esfuerzo deformaciones obtenidas en el ensayo para las muestras de roca se obtienen los valores de resistencia a la compresión no confinada ( $q_u$ ) y es posible obtener el módulo de elasticidad del material. A continuación, en la tabla 11, se presenta un resumen de resultados de resistencia a la compresión de 10 muestras representativas de rocas del casco urbano del municipio de Vélez, encontradas a diferentes profundidades:

**Tabla 11.** Resultados ensayos compresión simple.

SONDEO	PROFUNDIDAD m	$q_u$ Mpa
1	13.0	5.1008
4	8.5	6.1797
8	14.0	2.7873
12	8.5	1.9425
16	15.0	6.3460
17	10.0	6.4730
19	11.0	7.7468
22	15.5	6.2790
27	5.0	5.6679
37	5.0	5.2745

Fuente: Elaboración Propia

### 1.1.3.6 Clasificación geomecánica

#### 1.1.3.6.1 Perfil de meteorización

Los materiales presentes en el municipio de Vélez, corresponden a limolitas calcáreas, las cuales superficialmente han afrontado procesos de alteración por la acción de los agentes climáticos típicos de una región tropical húmeda como el de la zona en estudio. Dicha meteorización afecta el macizo rocoso, definiendo horizontes o niveles homogéneos en cuanto a sus características geológicas, los cuales están íntimamente ligados a sus propiedades geotécnicas. Para efectos descriptivos de tales horizontes se ha usado la clasificación de Deere y Patton (1971), con algunas modificaciones, que debe ser entendida de base a techo así:

- **Roca poco meteorizada:** Es una roca dura, de alta resistencia a la compresión, y variable resistencia al corte. En las perforaciones rotatorias la recuperación de los núcleos siempre supera el 60%. Es un nivel de roca adecuado para la cimentación de cualquier estructura.
- **Roca meteorizada:** Roca alterada, con alta variabilidad en su resistencia, encontrándose desde núcleos sanos hasta zonas débiles, incluyendo la presencia de suelo entre las fracturas en una proporción entre el 10% y el 50%. El espesor de este estrato es variable, desde nulo, a centímetros en los sectores de quebradas y hasta unos 10 m aproximadamente en los sectores de ladera.
- **Transición Suelo - Roca:** Por encima de la roca meteorizada se presenta el horizonte de transición de la roca al suelo residual, caracterizado por la presencia de fragmentos rocosos angulosos envueltos por suelos de fina granulometría. La fracción rocosa presenta diferentes estados de alteración y su proporción en volumen es menor al 50%. El espesor es variable, desde algunos centímetros, hasta más de 10 m en las topografías moderadas. Este material es en general suelto, plástico, cohesivo y fácilmente removible

- **Suelo residual:** corresponde a suelos limo arcillosos o arcillo limosos homogéneo, que se presenta cuando el proceso de meteorización es muy avanzado y el suelo no conserva la textura de la roca original. Este tipo de suelos se presenta en la mayor parte del casco urbano y siendo de mayor espesor en condiciones de baja pendiente y poco escurrimiento superficial.

#### 1.1.3.6.2 Caracterización de estratos del suelo

Para definir el comportamiento geomecánico de los estratos de suelo presentes en la zona en estudio, se definió la siguiente metodología de trabajo enfocada al análisis de la información existente y la interpretación de las exploraciones de campo y ensayos de laboratorio realizados.

El procedimiento particular de estimación de parámetros utilizado fue el siguiente:

- Evaluación de la exploración: Se analizó la información obtenida de perforaciones, apiques y trincheras, identificándose en cada caso, el tipo de material y sus características físicas básicas.
- Análisis de ensayos de laboratorio: Se evaluaron los resultados de laboratorio de las muestras sacadas, las cuales se clasificaron de acuerdo a la información obtenida en la etapa anterior; se complementaron las características de cada tipo de material con los resultados de ensayos de campo tales como el SPT, mediante el procesamiento de los mismos.
- Evaluación de límites de comportamiento mecánico de materiales: A partir de la información recopilada se establecieron los límites de los parámetros constitutivos del material; se buscó que dichos límites se encontraran, de acuerdo con la experiencia, en los rangos de variación para cada tipo de material en particular, de tal forma que fuera mínima la probabilidad de que el terreno presentara propiedades intrínsecas inferiores o superiores a los límites establecidos.
- Determinación de secciones críticas de análisis y perfiles estratigráficos: En cada uno de los sitios en evaluación se identificaron las secciones de análisis, a las cuales se les determinó el límite de los horizontes de meteorización, es decir, se definió el modelo geológico geotécnico para cada uno de los sitios de interés.

#### 1.1.3.6.3 Caracterización del macizo rocoso

Aplicando la metodología de Deere & Patton y evaluando la información recolectada en los procesos de exploración, se procedió a realizar la clasificación geomecánica del macizo. Se partió de parámetros tales como el Recobro y el RQD (Rock Quality Designation) y se calcularon los parámetros de clasificación tales como el GSI (Geological Strength Index), donde la resistencia a la compresión inconfiada, el factor  $m_i$  (Hoek, 2002) y el módulo de elasticidad, se definieron con base en la estratigrafía y los ensayos de laboratorio.

El GSI se basa en observaciones cuidadosas del macizo rocoso y por consiguiente, es esencialmente cualitativa. Este índice incorpora la estructura del mismo y las características geo-mecánicas de las discontinuidades existentes en él y se obtiene a partir de un examen visual del macizo rocoso en afloramiento y sondeos. El GSI es la combinación de dos

aspectos fundamentales del comportamiento del macizo rocoso, su fracturación, o sea, el tamaño y la forma de los bloques y la resistencia al corte de las discontinuidades. Para estimarlo se toma como base la tabla recomendada por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (International Society of Rock Mechanics ISRM) y lo propuesto por Hoek y Marinos, 2000, quienes determinan el GSI a partir del espaciamiento de las discontinuidades, según la figura 41.

Figura 41. Índice de resistencia geológica GSI, para macizos rocosos fracturados.

ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIONES DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES				
	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA
 <p><b>INTACTO O MASIVO</b>            Muestras intactas de roca o macizos rocosos masivos con pocas discontinuidades muy espaciadas.</p>	90			NA	NA
 <p><b>FORMADO POR BLOQUES</b>            Macizo rocoso consistente en bloques cúbicos delimitados por tres familias de discontinuidades, con los bloques bien encajados.</p>	80				
 <p><b>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES</b>            Macizo rocoso formado por bloques angulares de muchas caras delimitados por cuatro o más familias de discontinuidades. Los bloques están encajados pero solo parcialmente.</p>		70			
 <p><b>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES, DISTORSIONADO Y BANDEADO</b>            Plegado con muchos bloques angulares formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Planos de estratificación o de esquistosidad persistentes.</p>		60			
 <p><b>DESINTEGRADO</b>            Macizo rocoso muy fracturado con una mezcla de bloques angulares y redondeados débilmente encajados.</p>		50			
 <p><b>LAMINADO Y CIZALLADO</b>            Debido a la existencia de numerosos planos débiles muy próximos de esquistosidad o de cizalla, no existen bloques.</p>		40			
		30			
		20			
	NA	NA			10

ENCAJE DECREciente ENTRE LOS TRIZOS DE ROCA

Fuente: Hoek y Marinos, 2000

Para estimar el valor  $m_i$  de la roca (Hoek, Carranza y Corkum, 2002), se contó con el valor medio obtenido de los ensayos de compresión simple y de la literatura técnica; se tomó un valor teórico para roca tipo Shale, correspondiente a  $6 \pm 2$ .

Los valores de módulos de deformación en roca intacta, fueron tomados de los ensayos realizados sobre los núcleos de roca, tanto de compresión simple como lo observado en la literatura.

## 1.2 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

La zonificación geotécnica consistió en la delimitación de materiales homogéneos que presenten un comportamiento geomecánico relativamente idéntico y permitan delimitar sectores de estabilidad y deformabilidad de similar comportamiento.

Para la realización de la zonificación geotécnica se analizaron las propiedades geológicas de mayor relación con las propiedades geotécnicas como son la litología y composición mineralógica, las cuales están relacionadas directamente con la densidad y la plasticidad de los suelos. En cuanto a los macizos rocosos, se analizaron propiedades tales como persistencia, espaciamiento, rugosidad y tipo de discontinuidad presente, con el fin de identificar el grado de fracturación y el grado de meteorización.

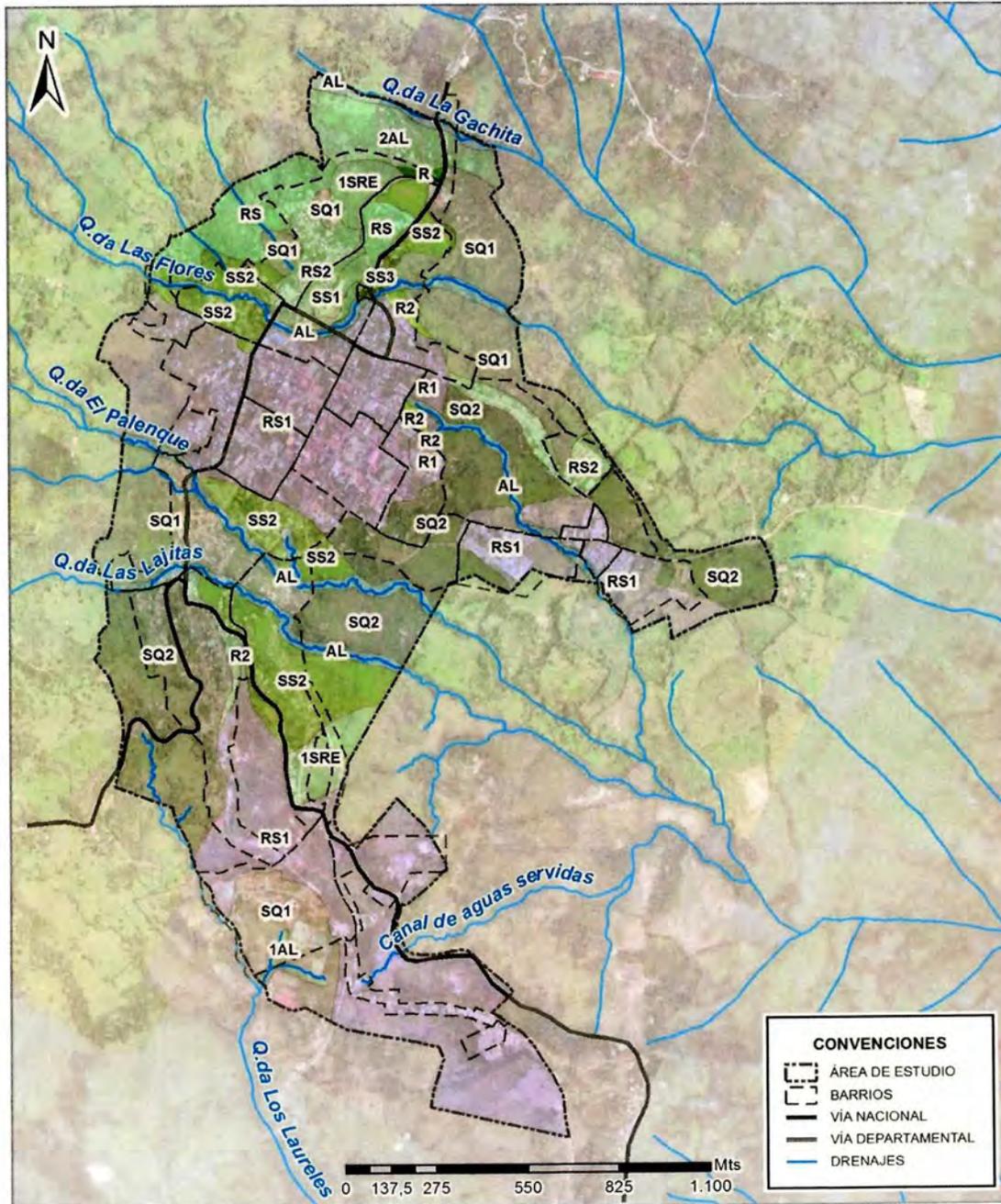
Para establecer características litológicas, origen y características geológicas de los materiales, se realizó la fotointerpretación y ensayos de campo mediante sondeos por rotación con realización de ensayos SPT y apiques. La descripción visual de las muestras de roca incluyó factores como color, textura, alteración y en suelos, factores como tamaño del grano, materia orgánica, plasticidad, tipo de depósito, color, consistencia entre otros. El posterior análisis de muestras en laboratorio permitió su clasificación y caracterización geomecánica.

Dado que la presencia de agua en los materiales afecta sus propiedades y su comportamiento mecánico fue por lo tanto un aspecto tenido en cuenta en la sectorización geotécnica. Además de los cambios en las condiciones de los materiales y la variación en sus propiedades geotécnicas, los cuerpos de agua superficial y subterránea dan lugar a procesos de meteorización física y química que provocan cambios en el relieve y movimientos del terreno tales como deslizamientos, hundimientos o subsidencias. A su vez, los flujos de agua naturales pueden ser afectados por las obras de ingeniería, estructuras hidráulicas, explanaciones, edificaciones, deforestaciones y por los movimientos del terreno. Entre los aspectos tenidos en cuenta para la realización del mapa geotécnico, se incluyeron los niveles piezométricos o niveles freáticos, profundidad y fluctuación de estos niveles, permeabilidad, entre otros.

Los aspectos geomorfológicos y la interpretación de la topografía fueron de gran importancia en lo referente a la caracterización física del territorio y aportaron información sobre procesos de inestabilidad y zonas inestables.

A continuación se presenta mapa con la sectorización geotécnica en la figura 42.

**Figura 42. Sectorización geotécnica en el municipio de Vélez (Plano U-21).**



Fuente: Elaboración Propia

## 1.2.1 Zona geotécnica SS1

### 1.2.1.1 Localización

La zona geotécnica SS1 está localizada junto a la plaza de toros en el barrio la Feria al costado norte del municipio de Vélez.

### 1.2.1.2 Características geotécnicas

La unidad superficial corresponde a suelo suelto compuesto por limos arcillosos, plásticos (límite líquido promedio de 44.0%, límite plástico 28%), saturados, poco resistentes, de color amarillo; se encuentra hasta una profundidad promedio de 4.5 metros, con valores de penetración estándar menores de 10 golpes/pies y no aptos para la cimentación sobre este estrato. Seguidamente se encuentra suelo de origen residual compuesto por limos arcillosos o arcillas limosas de alta plasticidad, poco permeables, su espesor es de aproximadamente 1.5 metro y se encuentra hasta una profundidad aproximada de 6.0 metros; son algo resistentes, con valores de penetración estándar entre 10 y 30 golpes/pie y medianamente competente para la cimentación de estructuras; se soportan sobre rocas limolita calcáreas con tamaño de grano lodo, muy fracturada en la parte superior de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, duras, resistente. En la tabla 12 se presenta el perfil típico de esta zona geotécnica.

**Tabla 12.** Perfil típico de zona geotécnica SS1.

PROFUNDIDAD (m)	Sondeo 19	PERFIL TÍPICO
0.0 a 0.5	9	Suelos sueltos compuesto por limos arcillosos y arenas arcillosas, plásticos, poco permeables, húmedos a saturados, poco resistentes de color marrón con presencia de materia orgánica superficial
0.5 a 1.0	9	
1.0 a 1.5	10	
1.5 a 2.0	6	
2.0 a 2.5	6	
2.5 a 3.0	9	
3.0 a 3.5	11	
3.5 a 4.0	12	
4.0 a 4.5	8	
4.5 a 5.0	10	Suelos residual compuesto por arcillas limosas, plásticos, poco permeables, saturados, resistentes de color marrón.
5.0 a 5.5	26	
5.5 a 6.0	RT	
6.0 a 6.5	RT	Roca limolita con tamaño de grano lodo, muy fracturada en la parte superior de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, duras, resistente.
6.5 a 7.0	RT	
7.0 a 7.5	RT	
7.5 a 8.0	RT	
8.0 a 8.5	RT	
8.5 a 9.0	RT	
9.0 a 9.5	RT	
9.5 a 10.0	RT	
10.0 a 10.5	RT	
10.0 a 20.0	RT	

Fuente: Elaboración Propia

### 1.2.1.3 Capacidad portante

La Capacidad portante admisible de una cimentación es aquella que puede ser aplicada sin producir daño en la estructura soportada, teniendo además, un margen de seguridad. La carga admisible no depende únicamente del terreno, sino también de la cimentación, de las características de la estructura y del coeficiente de seguridad que se adopte en cada caso. Los valores de N seleccionados para el análisis corresponden al valor de N representativo del real comportamiento del suelo para cada estrato.

Teniendo en cuenta que los suelos superficiales de la ciudad de Vélez presentan contenidos de humedad altos y que se encuentran en condiciones altas de saturación, la capacidad de carga se evaluó, para todos los casos, utilizando la ecuación de Hansen (1970) para suelos finos en condición no drenada, mediante la expresión:

$$q_{ult} = 5.14C_u(1 + S'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + \bar{q}$$

$$S'_c = 0.2 \frac{B}{L}, \quad d'_c = 0.4 \frac{D_f}{B}; \quad i'_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{A_f c_a}}$$

$$g'_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; \quad b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

En la cual

$C_u$  es la cohesión no drenada del suelo

$S'_c$  es factor de forma

$d'_c$  es factor de profundidad

$i'_c$ ,  $b'_c$  y  $g'_c$  son factores de inclinación

La cohesión no drenada fue determinada mediante expresión de Stroud (1974) en función de los valores de penetración estándar de campo medios o promedios de cada uno de los suelos mediante la expresión:

$$C_u = 4.4 * N_f \quad (KN/m^2)$$

En la cual  $N_f$  es el valor de penetración estándar de campo.

En la tabla 13 se presenta capacidad de carga aproximada para cada una de las capas determinadas en los sondeos.

**Tabla 13.** Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica SS1

ESTRATO		Prof prom (m)	N prom (Golpes/pie)	$c_u$	$s'_c$	$d'_c$	$q_{ult}$	FS	Qadm (Kn/m2)	Qadm (ton/m2)
INICIO	FIN									
0	Var 2 a 3.5	2.5	9	36.0	0.2	0.4	333.4	3.0	111.1	11.1
Var 2 a 3.5	Var 4.5 a 7.0	5.5	26	104.0	0.2	0.5	1001.8	3.0	333.9	33.4
Var 5.0 a 11.0	Mayor a 12m	9		150.0	0.2	0.5	1504.2	3.0	501.4	50.1

Fuente: Elaboración Propia

#### 1.2.1.4 Problemas geotécnicos

La zona SS1 presenta los siguientes problemas geotécnicos:

- Presencia de mantos de suelos sueltos no consolidados, los cuales pueden sufrir asentamientos que pueden inducir daños en las viviendas.
- Hundimientos y movimientos de tierra superficiales por saturación en épocas de lluvias.
- Agrietamiento por movimiento del terreno tipo reptación.
- Suelos de alta plasticidad.
- Niveles freáticos muy altos, algunas veces con niveles piezométricos por encima del nivel del terreno.
- Capacidades de soporte bajas en los sectores de materiales no consolidados.
- La humedad natural alta.

#### 1.2.1.5 Observaciones especiales

Previamente a la realización de proyectos de desarrollo urbano, se deben realizar estudios geotécnicos detallados que permitan determinar las limitaciones geotécnicas de cada sitio en particular y se deben construir las obras de control, estabilización y manejo.

### 1.2.2 Zona geotécnica SS2

#### 1.2.2.1 Localización

La zona geotécnica SS2 presenta cuatro sectores: el primer sector se encuentra localizado al costado Nor-occidental del barrio San Luis y comprende el cementerio, la cancha de fútbol conocida como el Campin y las viviendas existentes al costado oriental de la carrera 4 entre la quebradas las Flores y la calle 13C. El segundo sector se encuentra localizado en la parte alta del barrio Kennedy, el tercer sector se encuentra localizado en el barrio el Palenque al costado norte de la quebrada el Palenque hasta la plaza de mercado y calle 7 aproximadamente y el cuarto está localizado al costado sur de la quebrada Las Lajitas en el barrio Ricaurte.

#### 1.2.2.2 Características geotécnicas

Los suelos superficiales sueltos que corresponden a limos arcillosos o arcillas limosas de alta plasticidad (límite líquido promedio de 48.0%, límite plástico 31%), poco permeables; presentan generalmente cohesiones y humedades altas (humedad promedio 37.2%), su espesor varía entre 2 a 3.5 metros, poco resistentes con valores de penetración estándar menores de 10 golpes/pie y no aptos para la cimentación.



Seguidamente se encuentran suelos de origen residual compuestos por limos arcillosos o arcillas limosas de alta plasticidad (límite líquido promedio de 45.0%, límite plástico 23%), poco permeables; presentan generalmente cohesiones altas y humedades un poco menores que la capa superior (humedad promedio 26.2%), su profundidad varía de 4.0 a 7.5 metros; son algo resistentes con valores de penetración estándar entre 10 y 20 golpes/pie y medianamente competente para la cimentación de estructuras.

Debajo se encuentra un estrado de suelo residual competente para la cimentación de estructuras compuesto por limos arcillosos y arcillas limosas plásticas, poco permeables, resistentes, saturados, de color marrón los cuales se soportan sobre roca limolita calcárea con tamaño de grano lodo, muy fracturada en la parte superior de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, duras, resistente la cual aflora a una profundidad variable entre 5 y 10 metros. En la tabla 14 se presenta un resumen de los resultados de penetración estándar de campo y perfil típico y en la figura 43 un resumen general de las propiedades obtenidas en los ensayos de laboratorio:

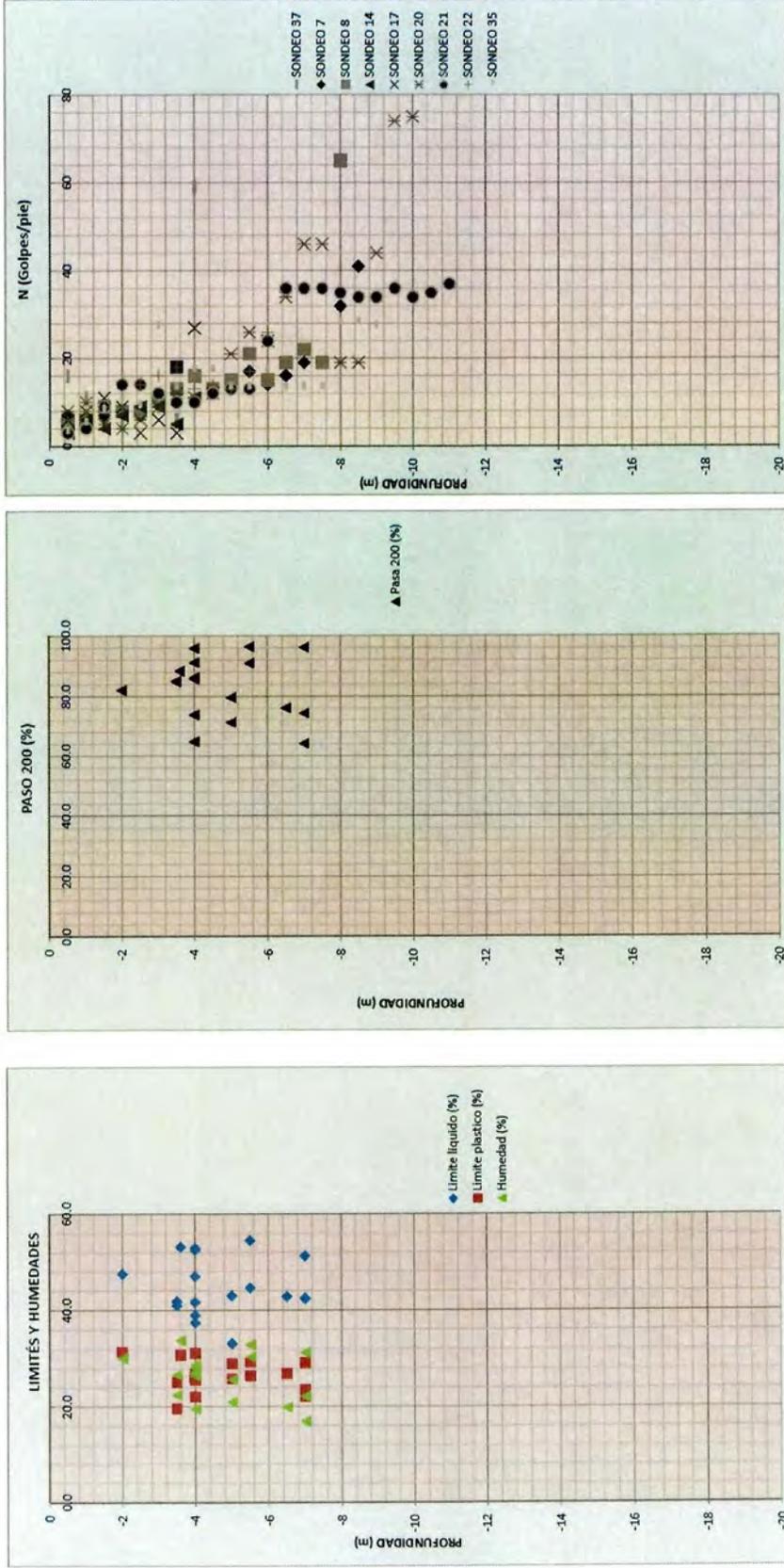
Tabla 14. Perfil típico de zona geotécnica SS2.

PROFUNDIDAD (m)	SONDEOS											N DISEÑO	PERFIL TÍPICO
	6	7	8	14	17	20	21	22	35	37			
0.0 a 0.5	5	7	5	3	6	8	3	6	3	16	3	Suelos sueltos compuesto por limos arcillosos y arcillas limosas, plásticos, poco permeables, húmedos a saturados, poco resistentes de color marrón con presencia de materia orgánica superficial	
0.5 a 1.0	4	6	6	6	8	10	4	8	5	11	4		
1.0 a 1.5	4	7	9	4	11	5	9	9	8	5	4		
1.5 a 2.0	5	8	8	7	9	4	14	9	10	5	4		
2.0 a 2.5	7	7	8	9	3	6	14	14	9	7	3		
2.5 a 3.0	9	10	11	9	6	9	12	16	27	9	6		
3.0 a 3.5	9	12	13	5	3	12	10	18	13	6	3		
3.5 a 4.0	8	10	16	11	27	11	10	13	17	59	10	Suelos residual compuesto por limos arcillosos y arcillas limosas, plásticos, poco permeables, húmedos a saturados, algo resistentes de color marrón.	
4.0 a 4.5	11	13	13			12	12	14	17		12		
4.5 a 5.0	44	14	15			21	13	13	13		13		
5.0 a 5.5		17	21			26	13	17	13		13		
5.5 a 6.0		14	15			24	24	26	17		14		
6.0 a 6.5		16	19			34	36		13		13		
6.5 a 7.0		19	22			46	36		13		13		
7.0 a 7.5		19	19			46	36		13		13	Suelos residual compuesto por limos arcillosos y arcillas limosa, plásticos, poco permeables, húmedos a saturados, resistentes de color marrón.	
7.5 a 8.0		32	65			19	35		28		19		
8.0 a 8.5		41				19	34		28		19		
8.5 a 9.0						44	34		27		27		
9.0 a 9.5						74	36				36		
9.5 a 10.0						75	34				34		
10.0 a 10.5							35				35		
10.5 a 11.0							37				37	Roca limolita con tamaño de grano lodo, muy fracturada en la parte superior de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, duras, resistente.	
11.0 a 11.5											RT		
11.5 a 12.0											RT		
12.0 a 12.5											RT		
12.5 a 13.0											RT		
13.0 a 13.5											RT		
13.5 a 14.0											RT		
14.0 a 14.5											RT		
14.5 a 15.0											RT		
15.0 a 15.5											RT		
15.5 a 16.0											RT		
16.0 a 16.5											RT		
16.5 a 17.0											RT		
17.0 a 17.5											RT		
17.5 a 18.0											RT		
18.0 a 18.5											RT		
18.5 a 19.0											RT		
19.0 a 19.5											RT		
19.5 a 20.0											RT		

Fuente: Elaboración Propia



Figura 43. Perfil geotécnico promedio, obtenido de la base geotécnica SS2. Zona geotécnica SS2.



Fuente: Elaboración Propia

### 1.2.2.3 Capacidad portante

A continuación se presenta capacidad de carga aproximada para cada una de las capas determinada en los sondeos, con la metodología empleada en el numeral 1.2.1.3.

**Tabla 15.** Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica SS2.

ESTRATO		Prof prom (m)	N prom (Golpes/pie)	$c_u$	$d'_c$	$q_{ult}$	FS	Qadm (Kn/m <sup>2</sup> )	Qadm (ton/m <sup>2</sup> )
INICIO	FIN								
0	Var 2 a 3.5	1.5	4	15.4	0.3	146.0	3.0	48.7	4.9
Var 2 a 3.5	Var 4.5 a 7.0	4.5	13	50.5	0.5	512.2	3.0	170.7	17.1
Var 4.5 a 7.0	Var 5.0 a 11.0	7	28	113.3	0.5	1126.2	3.0	375.4	37.5
Var 5.0 a 11.0	Mayor a 12m	9		150.0	0.5	1504.2	3.0	501.4	50.1

Fuente: Elaboración Propia

### 1.2.2.4 Problemas geotécnicos

La zona SS2 presenta los siguientes problemas geotécnicos:

- Presencia de mantos de suelos sueltos no consolidados, los cuales pueden (Igual que el anterior)
- Hundimientos y movimientos de tierra superficiales por saturación en épocas de lluvias.
- Agrietamiento por movimiento del terreno tipo reptación.
- Suelos de alta plasticidad.
- Niveles freáticos poco profundos.
- Capacidades de soporte bajas en los sectores de materiales no consolidados.
- La humedad natural alta.

### 1.2.2.5 Observaciones Especiales

Por el grave peligro en que se encuentran algunas viviendas actualmente, es urgente y prioritario establecer e implementar planes de contingencia que incluyan, entre otros aspectos, el inventario de edificaciones afectadas, la evaluación de daños, el monitoreo del avance del fenómeno especialmente en períodos invernales y alternativas para la reubicación de familias afectadas.

Previamente a la realización de proyectos de desarrollo urbano, se deben realizar estudios geotécnicos detallados que permitan determinar las limitaciones geotécnicas de cada sitio en particular y se deben construir las obras de control, estabilización y manejo.

### **1.2.3 Zona geotécnica R1**

#### **1.2.3.1 Localización**

La zona geotécnica R1 presenta dos sectores, uno localizado en la parte baja del barrio las Nieves y otro en la parte baja del barrio San Luis al costado sur de la quebrada las Flores.

#### **1.2.3.2 Características geotécnicas**

Los suelos superficiales corresponden a relleno blando compuesto por limos arcillosos o arcillas limosas; de alta plasticidad (límite líquido promedio de 42.0%, límite plástico 28%), poco permeables, presentando generalmente cohesiones y humedades altas (humedad promedio 23%), su espesor varía entre 1.5 a 2.0 metros de profundidad, poco resistentes con valores de penetración estándar menores de 7 golpes/pies y no aptos para la cimentación sobre este estrato.

Seguidamente se encontraron suelos de origen residual compuestos por limos arcillosos o arcillas limosas de alta plasticidad (límite líquido promedio de 49.0%, límite plástico 29%), poco permeables; presentan generalmente cohesiones alta y humedades un poco menor que la capa superior (humedad promedio 21%), su profundidad varía de 4.0 a 7.5 metros, algo resistentes con valores de penetración estándar entre 15 y 30 golpes/pie y competente para la cimentación de estructuras.

Debajo se encontró afloramiento de Limolita arcillosa fracturada de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, dura, poco resistente. En la tabla 16 se presenta un resumen de los resultados de penetración estándar de campo y perfil típico y en la figura 44, un resumen general de las propiedades obtenidas en los ensayos de laboratorio:

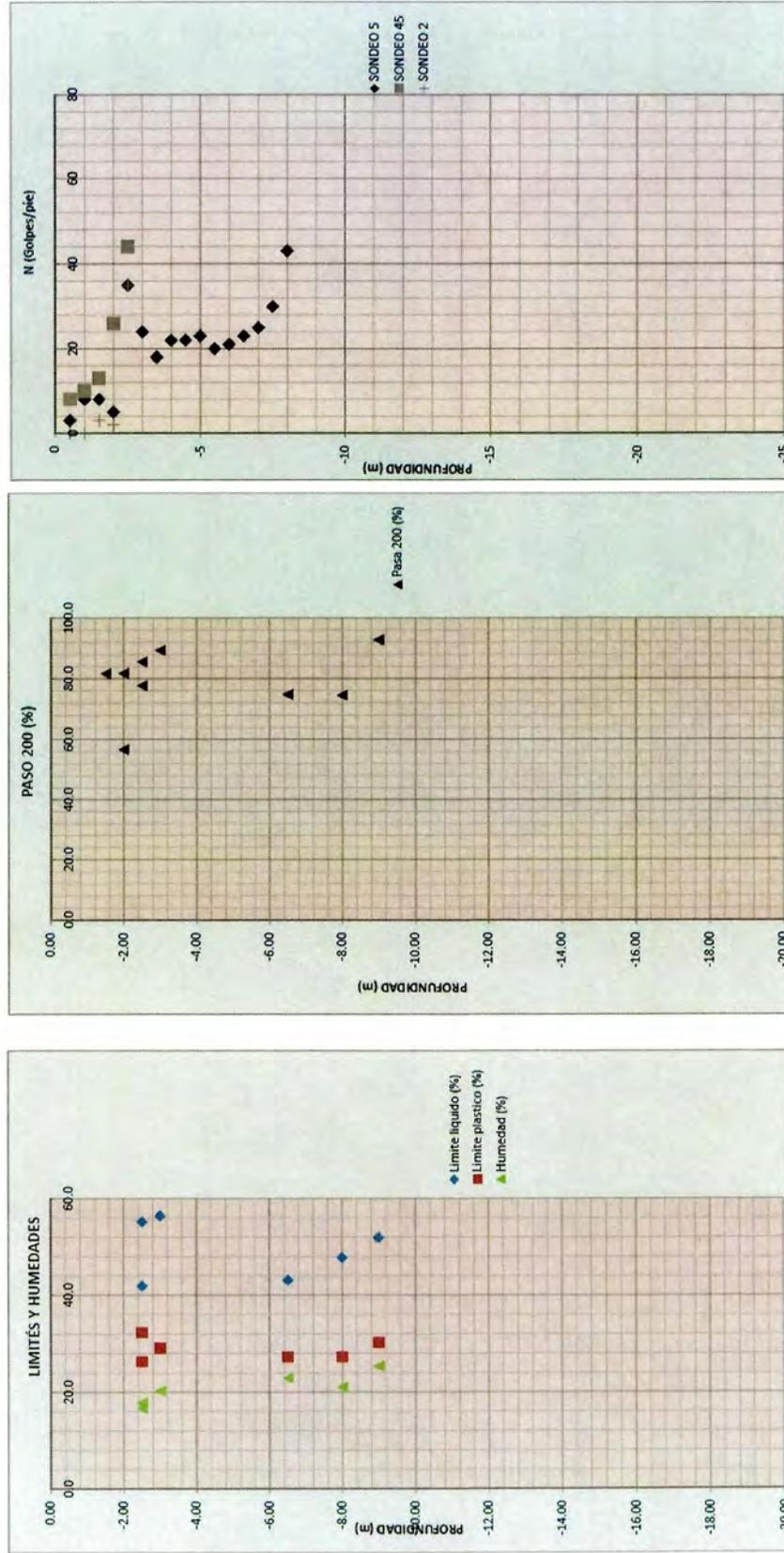
Tabla 16. Perfil típico de zona geotécnica R1.

PROFUNDIDAD (m)	SONDEOS			N DISEÑO	PERFIL TIPICO
	2	5	45		
0.0 a 0.5	0	3	8	0	Relleno compuesto por arcilla plastica y limos arcillosos, húmeda, poco permeable, poco resistente de color marrón con trozos de ladrillo y materia organica.
0.5 a 1.0	0	8	10	0	
1.0 a 1.5	3	8	13	3	
1.5 a 2.0	2	5	26	2	
2.0 a 2.5	35	35	44	35	Suelos residual compuesto por limos arcillosos y arcillas limosas, plásticos, poco permeables, húmedos a saturados, resistentes de color marrón.
2.5 a 3.0	RT	24	RT	24	
3.0 a 3.5	RT	18	RT	18	
3.5 a 4.0	RT	22	RT	22	
4.0 a 4.5	RT	22	RT	22	
4.5 a 5.0	RT	23	RT	23	
5.0 a 5.5	RT	20	RT	20	
5.5 a 6.0	RT	21	RT	21	
6.0 a 6.5	RT	23	RT	23	
6.5 a 7.0	RT	25	RT	25	
7.0 a 7.5	RT	30	RT	30	
7.5 a 8.0	RT	43	RT	43	
8.0 a 8.5	RT	RT	RT	RT	Limolita arcillosa fracturada de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, dura, poco resistente.
8.5 a 9.0	RT	RT	RT	RT	
9.0 a 9.5	RT	RT	RT	RT	
9.0 a 10.0				RT	

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 44.** Perfil geotécnico promedio, obtenido de la base geotécnica.



Fuente: Elaboración Propia



### 1.2.3.3 Capacidad portante

A continuación se presenta capacidad de carga calculada por Hansen (1970), aproximada para cada una de las capas determinada en los sondeos.

**Tabla 17.** Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica R1.

ESTRATO		Prof prom (m)	N prom (Golpes/pie)	$c_u$	$s'_c$	$d'_c$	$q_{ult}$	FS	Qadm (Kn/m <sup>2</sup> )	Qadm (ton/m <sup>2</sup> )
INICIO	FIN									
0	Var 1.5 a 2.0	1.5	2	8.0	0.2	0.3	88.7	3.0	29.6	3.0
Var 1.5 a 2.0	Var 3.0 a 8.0	3.5	26	102.0	0.2	0.4	912.7	3.0	304.2	30.4
Var 3.0 a 8.0	Mayor a 10m	8		150.0	0.2	0.5	1478.1	3.0	492.7	49.3

Fuente: Elaboración Propia

### 1.2.3.4 Problemas geotécnicos

La zona R1 presenta los siguientes problemas geotécnicos:

- Presencia de mantos de suelos sueltos no consolidados, los cuales pueden asentarse.
- Suelos de alta plasticidad.
- Heterogeneidad del perfil de suelo.
- En temporadas de lluvias los niveles freáticos pueden ser poco profundos.
- Capacidades de soporte bajas en los sectores de materiales no consolidados.
- La humedad natural altas.

### 1.2.3.5 Observaciones especiales

Previamente a la realización de proyectos de desarrollo urbano, se deben realizar estudios geotécnicos detallados que permitan determinar las limitaciones geotécnicas de cada sitio en particular y se deben construir las obras de control, estabilización y manejo.

## 1.2.4 Zona geotécnica R2

### 1.2.4.1 Localización

La zona geotécnica R2 se presenta en tres sectores: el primero se encuentra en la parte baja de los barrios las Nieves, costado oriental de carrera 2 y parte norte de la calle 11. El segundo sector se encuentra localizado en la parte baja del barrio San Luis costado oriental del sector R1. El tercer sector está ubicado en la parte oriental del barrio Santa Teresita.

### 1.2.4.2 Características geotécnicas

Los suelos subsuperficiales corresponden a rellenos sueltos compuestos por limos arcillosos o arcillas limosas, de alta plasticidad, poco permeables, presentando generalmente cohesiones y humedades altas; su espesor es de aproximadamente 4.5 metros, poco resistentes con valores de penetración estándar menores de 10 golpes/pie y no aptos para la cimentación sobre este estrato, a continuación se encuentra afloramiento de roca Limolita arcillosa fracturada de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, dura, poco resistente. En la tabla 18 se presenta un resumen general de las propiedades obtenidas en los sondeos y ensayos de laboratorio.

**Tabla 18.** Perfil típico de zona geotécnica R2.

PROFUNDIDAD (m)	SONDEOS		N DISEÑO	PERFIL TIPICO
	1	4		
0.0 a 0.5	3	7	3	Relleno compuesto por arcilla plastica y limos arcillosos, húmeda, poco permeable, poco resistente de color marrón con trozos de ladrillo y materia organica.
0.5 a 1.0	2	6	2	
1.0 a 1.5	3	9	3	
1.5 a 2.0	6	10	6	
2.0 a 2.5	7	11	7	
2.5 a 3.0	11	10	10	
3.0 a 3.5	6	9	6	
3.5 a 4.0	11	12	11	
4.0 a 4.5	10	9	9	
4.5 a 5.0	53	RT	53	Limolita arcillosa fracturada de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, dura, poco resistente.
5.0 a 5.5	RT	RT	RT	
5.5 a 6.0	RT	RT	RT	
6.0 a 6.5	RT	RT	RT	
6.5 a 7.0	RT	RT	RT	
7.0 a 7.5	RT	RT	RT	
7.5 a 8.0	RT	RT	RT	
8.0 a 8.5	RT	RT	RT	
8.5 a 9.0	RT	RT	RT	
9.0 a 9.5	RT	RT	RT	
10.0 a 20.0			RT	

Fuente: Elaboración Propia



### 1.2.4.3 Capacidad portante

A continuación se presenta capacidad de carga calculada por Hansen (1970), aproximada para cada una de las capas determinada en los sondeos.

**Tabla 19.** Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica 2R.

ESTRATO		Prof prom (m)	N prom (Golpes/pie)	$c_u$	$s'_c$	$d'_c$	$q_{ult}$	FS	Qadm (Krn/m <sup>2</sup> )	Qadm (ton/m <sup>2</sup> )
INICIO	FIN									
0	4.5	2.5	6	25.3	0.2	0.4	247.9	3.0	82.6	8.3
4.5	Mayor a 10m	8		150.0	0.2	0.5	1478.1	3.0	492.7	49.3

Fuente: Elaboración Propia

### 1.2.4.4 Problemas geotécnicos

La zona R2 presenta los siguientes problemas geotécnicos:

- Presencia de mantos de suelos sueltos no consolidados, los cuales pueden asentarse.
- Suelos de alta plasticidad.
- Heterogeneidad del perfil de suelo.
- En temporadas de lluvias los niveles freáticos pueden ser poco profundos.
- Capacidades de soporte bajas en los sectores de materiales no consolidados.
- Asentamientos por densificación en los eventos sísmicos.
- La humedad natural alta.

### 1.2.4.5 Observaciones especiales

El bajo comportamiento geomecánico de los llenos sueltos, constituye un peligro evidente para las construcciones que, sobre ellos se apoyen. Cualquier edificación u obra civil que se ubique en estos llenos puede verse afectada en forma severa por los procesos geotécnicos ya citados, que pueden ser lentos y continuos, como asentamientos desfavorables, o eventos intempestivos como sismos por ejemplo, que pueden llevar al colapso de las estructuras.

Por el grave peligro en que se encuentran algunas viviendas actualmente, es urgente y prioritario establecer e implementar planes de contingencia que incluyan, entre otros aspectos, el inventario de edificaciones afectadas, la evaluación de daños, el monitoreo del avance del fenómeno, especialmente en periodos invernales y alternativas para la reubicación de familias afectadas.

Previamente a la realización de proyectos de desarrollo urbano, se deben realizar estudios geotécnicos detallados que permitan determinar las limitaciones geotécnicas de cada sitio en particular y se deben construir las obras de control, estabilización y manejo.

### **1.2.5 Zona geotécnica RS**

#### **1.2.5.1 Localización**

La zona geotécnica RS se presenta en dos sectores: el primero localizado en la parte baja del barrio La Esperanza. El segundo se encuentra en el sector donde actualmente funciona la cárcel.

#### **1.2.5.2 Características geotécnicas**

La unidad superficial corresponde a los horizontes orgánicos del suelo, compuestos por limos arcillosos, plásticos, húmedos, poco resistentes de color marrón, hasta una profundidad variable entre 0.5 a 1.5 metros, con valores de penetración estándar menores de 10 golpes/pie y no aptos para la cimentación sobre este estrato.

Seguidamente se encuentran suelos de origen residual compuestos por limos arcillosos o arcillas limosas de alta plasticidad, poco permeables, resistentes hasta una profundidad variable entre 2.5 a 3.5 metros, con valores de penetración estándar entre 29 y 37 golpes/pies y competente para la cimentación de estructuras; se soportan sobre roca limolita calcárea con tamaño de grano lodo, muy fracturada en la parte superior de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, duras, resistente.

A continuación se presenta un resumen general de las propiedades obtenidas en los sondeos y ensayos de laboratorio.

**Tabla 20.** Perfil típico de zona geotécnica RS.

PROFUNDIDAD (m)	SONDEOS		N DISEÑO	PERFIL TÍPICO
	15	16		
0.0 a 0.5	5	4	4	Suelo suelo compuesto por limos arcillosos, muy plásticos, húmedos a saturado, poco resistente de color marrón.
0.5 a 1.0	6	7	6	
1.0 a 1.5	6	10	6	
1.5 a 2.0	6	8	6	
2.0 a 2.5	7	11	7	
2.5 a 3.0	11	14	11	
3.0 a 3.5	15	26	15	Suelo residual compuesto por limos arcillosos, plásticos, saturados, resistente de color amarillo con negro
3.5 a 4.0	10	40	10	
4.0 a 4.5	11	29	11	
4.5 a 5.0	26	48	26	
5.0 a 5.5	RT	RT	RT	Roca limolita con tamaño de grano lodo, muy fracturada superficialmente de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, duras, poco resistente.
5.5 a 6.0	RT	RT	RT	
6.0 a 6.5	RT	RT	RT	
6.5 a 7.0	RT	RT	RT	
7.0 a 7.5	RT	RT	RT	
7.5 a 8.0	RT	RT	RT	
8.0 a 8.5	RT	RT	RT	
8.5 a 9.0	RT	RT	RT	
9.0 a 9.5	RT	RT	RT	
9.5 a 10.0			RT	

Fuente: Elaboración Propia

### 1.2.5.3 Capacidad portante

A continuación se presenta capacidad de carga calculada por Hansen (1970), aproximada para cada una de las capas determinada en los sondeos.

**Tabla 21.** Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica RS.

ESTRATO		Prof prom (m)	N prom (Golpes/pie)	c <sub>u</sub>	s' <sub>c</sub>	d' <sub>c</sub>	q <sub>ult</sub>	FS	Qadm (Kn/m <sup>2</sup> )	Qadm (ton/m <sup>2</sup> )
INICIO	FIN									
0	Var 0.5 a 1.5	1	7	26.7	0.2	0.2	209.9	3.0	70.0	7.0
Var 0.5 a 1.5	Var 2.5 a 3.5	3	33	133.3	0.2	0.4	1145.8	3.0	381.9	38.2
4.5	Mayor a 10m	5		150.0	0.2	0.5	1382.3	3.0	460.8	46.1

Fuente: Elaboración Propia



#### 1.2.5.4 Problemas geotécnicos

La zona RS no presenta problemas geotécnicos de gran magnitud, pero existen algunas limitaciones geotécnicas entre las cuales se indican las siguientes:

- En temporada de lluvias se pueden presentar niveles freáticos poco profundos.
- Capacidades de soporte bajas en los sectores de materiales no consolidados.
- Suelos de alta plasticidad.
- La humedad natural altas.

#### 1.2.5.5 Observaciones especiales

Previamente a la realización de proyectos de desarrollo urbano, se deben realizar estudios geotécnicos detallados que permitan determinar las limitaciones geotécnicas de cada sitio en particular y se deben construir las obras de control, estabilización y manejo.

### 1.2.6 Zona geotécnica RS1

#### 1.2.6.1 Localización

La zona geotécnica RS1, que es la más extensa, se presenta en tres sectores: el primero corresponde al sector central del área urbana y va desde la calle 7 hasta el costado sur de la quebrada Las Flores y desde la carrera 1 hasta 6A. El segundo se encuentra al costado oriental del municipio en los barrios La Rosita, Pablo Sexto y Reino Unido. El tercer sector está localizado en el costado sur del casco urbano en los barrios El Colegio, Chapinero y La Sagrada Familia.

#### 1.2.6.2 Características geotécnicas

La unidad superficial corresponde a los horizontes orgánicos del suelo, compuestos por limos arcillosos y arcillas limosas, plásticos, húmedos a saturados, poco resistentes de color marrón hasta una profundidad variable entre 2.0 a 4.0 metros, con valores de penetración estándar entre 3 a 11 golpes/pies y no aptos para la cimentación sobre este estrato.

Seguidamente se encuentran suelos de origen residual compuestos por limos arcillosos o arcillas limosas de alta plasticidad, poco permeables, resistentes, hasta una profundidad variable entre 4.0 a 6.0 metros, con valores de penetración estándar entre 20 y 58 golpes/pies y competente para la cimentación de estructuras; se soportan sobre roca limolita calcárea con tamaño de grano lodo, muy fracturada en la parte superior de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, duras, resistente.

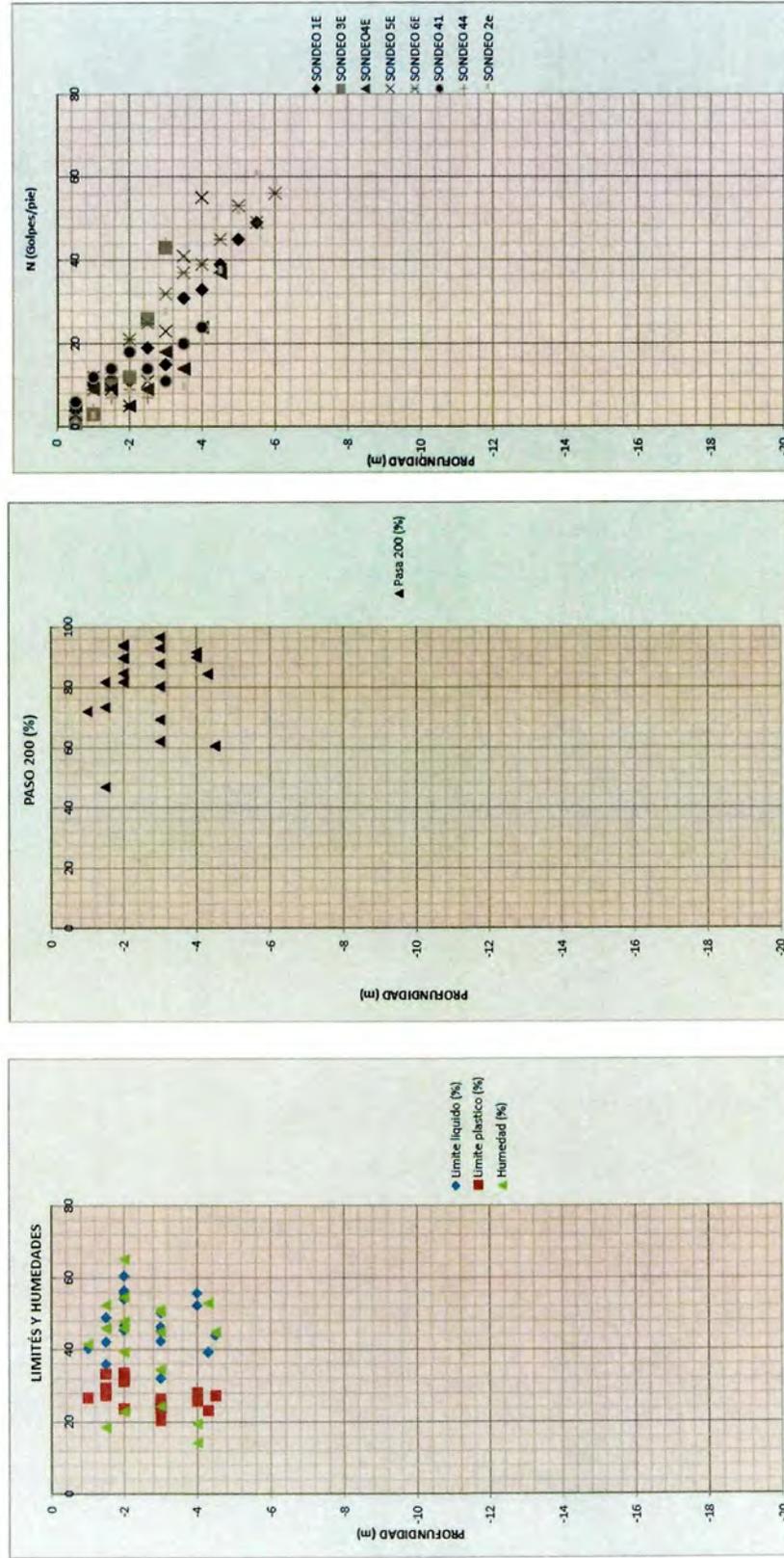
En la tabla 22 se presenta un resumen de los resultados de penetración estándar de campo y perfil típico y en la figura 45 un resumen general de las propiedades obtenidas en los ensayos de laboratorio:

**Tabla 22.** Perfil típico de zona geotécnica RS1.

PROFUNDIDAD (m)	SONDEOS								N DISEÑO	PERFIL TÍPICO
	1E	2E	3E	4E	5E	6E	41	44		
0.0 a 0.5	4	0	1	5	3	5	6	3	0	Suelos sueltos compuesto por limos arcillosos y arcillas limosas, plásticos, poco permeables, húmedos a saturados, poco resistentes de color marrón.
0.5 a 1.0	10	2	3	9	12	9	12	4	2	
1.0 a 1.5	11	7	10	9	9	13	14	7	7	
1.5 a 2.0	11	8	12	5	5	21	18	9	5	
2.0 a 2.5	19	11	26	9	11	25	14	7	7	
2.5 a 3.0	15	27	43	18	23	32	11	44	11	
3.0 a 3.5	31	9	90	14	41	37	20		9	Suelos residual compuesto por limos arcillosos y arcillas limosas, plásticos, poco permeables, húmedos a saturados, algo resistentes de color marrón.
3.5 a 4.0	33	20		24	55	39	24		20	
4.0 a 4.5	39	37		37	87	45			49	
4.5 a 5.0	45	51				53			58	
5.0 a 5.5	49	60				49			RT	
5.5 a 6.0		58				56			RT	
6.0 a 6.5									RT	Roca limolita con tamaño de grano lodo, muy fracturada en la parte superior de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, duras, resistente.
6.5 a 7.0									RT	
7.0 a 7.5									RT	
7.5 a 8.0									RT	
8.0 a 8.5									RT	
8.5 a 9.0									RT	
9.0 a 9.5									RT	
9.5 a 20.0									RT	

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 45.** Perfil geotécnico promedio, obtenido de la base geotécnica, Zona geotécnica RS1.



Fuente: Elaboración Propia

### 1.2.6.3 Capacidad portante

A continuación se presenta capacidad de carga calculada por Hansen (1970), aproximada para cada una de las capas determinada en los sondeos.

**Tabla 23.** Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica RS1.

ESTRATO		Prof prom (m)	N prom (Golpes/pie)	$c_u$	$s'_c$	$d'_c$	$q_{ult}$	FS	$Q_{adm}$ (Kn/m <sup>2</sup> )	$Q_{adm}$ (ton/m <sup>2</sup> )
INICIO	FIN									
0	Var 2.0 a 4.0	1.5	7	27.3	0.2	0.3	237.7	3.0	79.2	7.9
Var 2.0 a 4.0	Var 4.0 a 6.0	4.5	38	151.0	0.2	0.5	1370.2	3.0	456.7	45.7
Var 4.0 a 6.0	Mayor a 20 m	9		150.0	0.2	0.5	1504.2	3.0	501.4	50.1

### 1.2.6.4 Problemas geotécnicos

La zona RS no presenta problemas geotécnicos de gran magnitud, pero existen algunas limitaciones geotécnicas entre las cuales se indican las siguientes:

- Niveles freáticos poco profundos.
- Capacidades de soporte bajas en los sectores de materiales no consolidados.
- Suelos de alta plasticidad.
- La humedad natural altas.

### 1.2.6.5 Observaciones especiales

Previamente a la realización de proyectos de desarrollo urbano, se deben realizar estudios geotécnicos detallados que permitan determinar las limitaciones geotécnicas de cada sitio en particular y se deben construir las obras de control, estabilización y manejo.

## 1.2.7 Zona geotécnica RS2

### 1.2.7.1 Localización

La zona geotécnica RS2 se presenta en dos sectores: el primero en la parte baja del barrio la Esperanza y costado oriental del barrio las Feria, entre la quebrada las Flores seguido de carreras 5 y hasta carrera 6 aproximadamente y entre calles 12 a 13B. El segundo sector comprende la urbanización Villa del Bosque y viviendas aledañas a la calle 12 entre la urbanización y la carrera 2 (digitación de la calle 12).

### 1.2.7.2 Características geotécnicas

La unidad superficial corresponden a suelo de origen residual compuesto por limos arcillosos, plásticos, húmedos, poco resistentes de color marrón, hasta una profundidad de 3 metros, con valores de penetración estándar menores de 10 golpes/pies y no apta para la cimentación sobre este estrato.

Seguidamente se encuentran suelos de origen residual compuestos por limos arcillosos de alta plasticidad, poco permeables, resistentes hasta una profundidad de 5.0 metros, con valores de penetración estándar entre 10 y 40 golpes/pies y competente para la cimentación de estructuras; se soportan sobre roca limolita calcárea con tamaño de grano lodo, muy fracturada en la parte superior de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, duras, resistente. El perfil típico de esta zona se presenta en la tabla 24.

**Tabla 24.** Perfil típico de zona geotécnica RS2.

PROFUNDIDAD (m)	SONDEOS		N DISEÑO	PERFIL TIPICO
	15	16		
0.0 a 0.5	5	4	4	Suelo compuesto por limos arcillosos, muy plásticos, húmedos a saturado, poco resistente de color marrón.
0.5 a 1.0	6	7	6	
1.0 a 1.5	6	10	6	
1.5 a 2.0	6	8	6	
2.0 a 2.5	7	11	7	
2.5 a 3.0	11	14	11	
3.0 a 3.5	15	26	15	Suelo residual compuesto por limos arcillosos, plásticos, saturados, resistente de color amarillo con negro
3.5 a 4.0	10	40	10	
4.0 a 4.5	11	29	11	
4.5 a 5.0	26	48	26	
5.0 a 5.5	RT	RT	RT	Roca siliciclástica con tamaño de grano lodo, muy fracturada superficialmente de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, duras, poco resistente.
5.5 a 6.0	RT	RT	RT	
6.0 a 6.5	RT	RT	RT	
6.5 a 7.0	RT	RT	RT	
7.0 a 7.5	RT	RT	RT	
7.5 a 8.0	RT	RT	RT	
8.0 a 8.5	RT	RT	RT	
8.5 a 9.0	RT	RT	RT	
9.0 a 9.5	RT	RT	RT	
9.5 a 10.0			RT	

Fuente: Elaboración Propia

### 1.2.7.3 Capacidad portante

A continuación se presenta capacidad de carga calculada por Hansen (1970), aproximada para cada una de las capas determinada en los sondeos.

**Tabla 25.** Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica RS2.

ESTRATO		Prof prom (m)	N prom (Golpes/pie)	$c_u$	$s'_c$	$d'_c$	$q_{ult}$	FS	Qadm (Kn/m <sup>2</sup> )	Qadm (ton/m <sup>2</sup> )
INICIO	FIN									
0	3	1	7	26.7	0.2	0.2	209.9	3.0	70.0	7.0
3	5	3	16	62.0	0.2	0.4	561.7	3.0	187.2	18.7
5	Mayor a 10m	7		150.0	0.2	0.5	1449.8	3.0	483.3	48.3

Fuente: Elaboración Propia

#### 1.2.7.4 Problemas geotécnicos

La zona RS2 presenta los siguientes problemas geotécnicos:

- Presencia de mantos de suelos sueltos no consolidados, los cuales pueden asentarse.
- Hundimientos y movimientos de tierra superficiales por saturación en épocas de lluvias.
- Agrietamiento por movimiento del terreno tipo reptación.
- Suelos de alta plasticidad.
- Niveles freáticos poco profundos.
- Capacidades de soporte bajas en los sectores de materiales no consolidados.
- La humedad natural altas.

#### 1.2.7.5 Observaciones especiales

Por el grave peligro en que se encuentran algunas viviendas actualmente, es urgente y prioritario establecer e implementar planes de contingencia que incluyan, entre otros aspectos, el inventario de edificaciones afectadas, la evaluación de daños, el monitoreo del avance del fenómeno, especialmente en períodos invernales y alternativas para la reubicación de familias afectadas.

Previamente a la realización de proyectos de desarrollo urbano, se deben realizar estudios geotécnicos detallados que permitan determinar las limitaciones geotécnicas de cada sitio en particular y se deben construir las obras de control, estabilización y manejo.

## **1.2.8 Zona geotécnica AL**

### **1.2.8.1 Localización**

El sector AL está localizado en las márgenes de las quebradas La Gachita, Las Flórez, El Palenque, las Lajitas entre otros.

### **1.2.8.2 Características geotécnicas**

En esta zona se incluyen las áreas de depósitos aluviales de las quebradas La Gachita, Las Flores, El Palenque, Las Lajitas entre otros, afectados directamente por procesos de erosión relacionados con la dinámica de las corrientes de agua.

Los suelos superficiales corresponden a gravas sobre mantos de roca limolítica calcárea con tamaño de grano lodo, de color negro a gris oscuro, con laminación plana, duras, resistente.

Los niveles freáticos son poco profundos y están generalmente controlados por los niveles de agua en las cañadas y quebradas.

### **1.2.8.3 Problemas geotécnicos**

La zona AL presenta los siguientes problemas geotécnicos:

- Erosión por divagación lateral de los cauces.
- Inundación en épocas de lluvias.
- Baja capacidad de soporte de los depósitos aluviales recientes.

### **1.2.8.4 Observaciones especiales**

Todas estas áreas son potencialmente inundables, además de los estudios de geotecnia, se debe determinar en detalle la amenaza por inundación, antes de cualquier construcción o desarrollo.

Se recomienda realizar un estudio detallado de la dinámica de las quebradas La Gachita, Las Flórez, El Palenque, Las Lajitas y de la amenaza por inundación, con el objeto de diseñar e implementar proyectos de prevención y mitigación del riesgo para los asentamientos humanos que allí existen.

El ancho de la zona de amortiguación de los procesos de dinámica fluvial en las quebradas Las Flórez y El Palenque, debe ser definido con los resultados del estudio ya mencionado. Entre tanto se recomienda que este ancho no sea inferior a 30 metros a cada lado de la ribera actual, previo estudio detallado del sitio de interés.



## 1.2.9 Zona geotécnica AL2

### 1.2.9.1 Localización

La zona geotécnica AL2 está ubicada al costado sur de la quebrada la Gachita y comprende el barrio Los Cerezos y la parte norte del barrio la Gachita.

### 1.2.9.2 Características geotécnicas

Los suelos subsuperficiales corresponden a limos arenosos y arena limosos, algo plásticos, húmedos, resistentes, color marrón de hasta 2.5 metros de profundidad, con presencia de material orgánico superficial, valores de penetración estándar altos y competentes para la cimentación sobre este estrato. Se soportan sobre limolita arcillosa algo fracturada, de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, dura, poco resistente.

### 1.2.9.3 Capacidad portante

A continuación se presenta capacidad de carga calcula por Hansen (1970), aproximada para cada una de las capas determinada en los sondeos.

**Tabla 26.** Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica AL2.

ESTRATO		Prof prom (m)	N prom (Golpes/pie)	$c_u$	$s'_c$	$d'_c$	$q_{ult}$	FS	$Q_{adm}$ (Kn/m <sup>2</sup> )	$Q_{adm}$ (ton/m <sup>2</sup> )
INICIO	FIN									
0.5	2.5	1.5	26	104.0	0.2	0.3	828.8	3.0	276.3	27.6
2.5	Mayor a 10m	5		150.0	0.2	0.5	1382.3	3.0	460.8	46.1

Fuente: Elaboración Propia

### 1.2.9.4 Problemas geotécnicos

La zona AL2 no presenta problemas geotécnicos de gran magnitud, pero existen algunas limitaciones, entre las cuales se indican las siguientes:

- En temporada de lluvias se pueden presentar niveles freáticos poco profundos.
- Capacidades de soporte bajas en los sectores de materiales no consolidados.
- Suelos de alta plasticidad.
- La humedad natural altas.

### 1.2.9.5 Observaciones especiales

Previamente a la realización de proyectos de desarrollo urbano, se deben realizar estudios geotécnicos detallados que permitan determinar las limitaciones geotécnicas de cada sitio en particular y se deben construir las obras de control, estabilización y manejo.

## 1.2.10 Zona geotécnica SQ1

### 1.2.10.1 Localización

La zona geotécnica SQ1 se presenta en cinco sectores: el primero ubicado entre las quebradas El Palenque y Las Lajitas y comprende la parte norte del barrio Ricaurte y la parte sur de El Palenque. El segundo está ubicado en el sector donde se encuentra la escuela de Carabineros. El tercero se encuentra ubicado al costado nor-oriental del municipio en la parte baja de los barrios San Luis y costado norte de barrio Santander. El cuarto y quinto se encuentran en la parte alta del barrio la Esperanza.

### 1.2.10.2 Características geotécnicas

La unidad subsuperficial corresponden a suelos compuesto por limos arenosos y arcillas limosas, algo plásticos, húmedos a saturados, poco resistentes, de color marrón, con una profundidad variable entre 2.0 y 2.5 metros, valores de penetración estándar bajos menores de 12 golpes/pie, poco competentes para la cimentación sobre este estrato.

A continuación se encuentra suelo competente hasta una profundidad de aproximadamente 3.0 metros compuesto por limos arcillosos soportados sobre limolita arcillosa algo fracturada, de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, dura, poco resistente.

### 1.2.10.3 Capacidad portante

A continuación se presenta capacidad de carga calculada por Hansen (1970), aproximada para cada una de las capas determinada en los sondeos.

**Tabla 27.** Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica 1SQ.

ESTRATO		Prof prom (m)	N prom (Golpes/pie)	$c_u$	$s'_c$	$d'_c$	$q_{ult}$	FS	Qadm (Kn/m <sup>2</sup> )	Qadm (ton/m <sup>2</sup> )
INICIO	FIN									
0	Variable 2 y 2.5	1.5	7	28.0	0.2	0.3	242.9	3.0	81.0	8.1
Variable 2 y 2.5	3	5	20	80.0	0.2	0.5	779.2	3.0	259.7	26.0
3	Mayor a 10m	7		150.0	0.2	0.5	1449.8	3.0	483.3	48.3

Fuente: Elaboración Propia

### 1.2.10.4 Problemas geotécnicos

La zona SQ1 no presenta problemas geotécnicos de gran magnitud, pero existen algunas limitaciones geotécnicas entre las cuales se indican las siguientes:

- En temporada de lluvias se pueden presentar niveles freáticos poco profundos.
- Capacidades de soporte bajas en los sectores de materiales no consolidados.
- Suelos de alta plasticidad.
- La humedad natural altas.



### 1.2.10.5 Observaciones especiales

Previamente a la realización de proyectos de desarrollo urbano, se deben realizar estudios geotécnicos detallados que permitan determinar las limitaciones geotécnicas de cada sitio en particular y se deben construir las obras de control, estabilización y manejo.

### 1.2.11 Zona geotécnica SQ2

#### 1.2.11.1 Localización

La zona geotécnica SQ2 presenta cuatro sectores: el primero sector se encuentra en la parte alta del Barrio Los Arrayanes. El segundo sector se encuentra ubicado en la parte baja del Barrio el Palenque, en el interfluvio entre la quebrada Las Lajitas y El Palenque. El tercer sector se encuentra localizado al norte del barrio Santander. El cuarto sector se encuentra en la parte baja del casco urbano.

#### 1.2.11.2 Características geotécnicas

La unidad subsuperficial corresponde a suelos de origen coluvial, sueltos compuestos por limos arcillosos o arcillas limosas; son de alta plasticidad, poco permeables, presentando generalmente cohesiones y humedades altas. Su espesor variable entre aproximadamente 3.5 a 6.0 metros, poco resistentes con valores de penetración estándar menores de 10 golpes/pies y no aptos para la cimentación sobre este estrato.

Le sigue en profundidad un estrato limo arcilloso o arcillas limosas, de alta plasticidad, poco permeables, presentando cohesiones y humedades altas; alcanza profundidades entre aproximadamente 6.5 a 11.0 metros.

A continuación se encuentra afloramiento de roca limolita arcillosa fracturada de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, dura, poco resistente.

A continuación se presenta un resumen general de las propiedades obtenidas en los sondeos y ensayos de laboratorio:

Tabla 28. Perfil típico de zona geotécnica SQ2.

PROFUNDIDAD (m)	SONDEOS					N DISEÑO	PERFIL TÍPICO
	23	39	40	47	48		
0.0 a 0.5	2	3	5	8	4	2	Suelos sueltos compuesto por limos arcillosos y arcillas limosas, plásticos, poco permeables, húmedos a saturados, poco resistentes de color marrón con presencia de materia orgánica superficial
0.5 a 1.0	2	6	8	11	4	2	
1.0 a 1.5	4	6	7	12	7	4	
1.5 a 2.0	6	10	6	13	7	6	
2.0 a 2.5	10	6	4	RT	13	4	
2.5 a 3.0	13	6	7	RT	11	6	
3.0 a 3.5	37	8	9	9	10	8	
3.5 a 4.0	35	11	13	14	10	10	
4.0 a 4.5	32	8	26	17	11	8	
4.5 a 5.0	RT	12	RT	22	8	8	
5.0 a 5.5	RT	14	RT	7	6	6	
5.5 a 6.0	RT	14	RT	13	6	6	
6.0 a 6.5	RT	17	RT	16	10	10	
6.5 a 7.0	RT	20	RT	17	13	13	
7.0 a 7.5	RT	27	RT	RT	54	27	
7.5 a 8.0	RT	31	RT	RT	RT	31	
8.0 a 8.5	RT	31	RT	RT	RT	31	
8.5 a 9.0	RT	31	RT	RT	RT	31	
9.0 a 9.5	RT	31	RT	RT	RT	31	
9.5 a 10.0	RT	38	RT	RT	RT	38	
10.0 a 10.5		49				49	
10.5 a 11.0		70				70	
11.0 a 11.5		RT				RT	
11.5 a 12.0		RT				RT	
12.0 a 12.5		RT				RT	
12.5 a 20.0		RT				RT	
						Roca limolita con tamaño de grano lodo, muy fracturada en la parte superior de color negro a gris oscuro, con laminación plana, fisil, duras, resistente.	

Fuente: Elaboración Propia

### 1.2.11.3 Capacidad portante

A continuación se presenta capacidad de carga calculada por Hansen (1970), aproximada para cada una de las capas determinada en los sondeos.

Tabla 29. Capacidad portante de suelo aproximada zona geotécnica SQ2.

ESTRATO		Prof prom (m)	N prom (Golpes/pie)	$c_u$	$s'_o$	$d'_o$	$q_{ult}$	FS	$Q_{adm}$ (Kn/m <sup>2</sup> )	$Q_{adm}$ (ton/m <sup>2</sup> )
INICIO	FIN									
0	Var 3.0 a 6.5	1.5	5	20.0	0.2	0.3	181.2	3.0	60.4	6.0
Var 2 a 3.5	Var 4.5 a 7.0	4.5	28	112.0	0.2	0.5	1037.2	3.0	345.7	34.6
Var 5.0 a 11.0	Mayor a 12m	9		150.0	0.2	0.5	1504.2	3.0	501.4	50.1

Fuente: Elaboración Propia

#### **1.2.11.4 Problemas geotécnicos**

La zona SQ2 presenta los siguientes problemas geotécnicos:

- Presencia de mantos de suelos sueltos no consolidados, los cuales pueden asentarse.
- Suelos de alta plasticidad.
- Heterogeneidad del perfil de suelo.
- En temporadas de lluvias los niveles freáticos pueden ser poco profundos.
- Capacidades de soporte bajas en los sectores de materiales no consolidados.
- Asentamientos por densificación en los eventos sísmicos.
- La humedad natural altas.

#### **1.2.11.5 Observaciones especiales**

El bajo comportamiento geomecánico de los llenos sueltos, constituye un peligro evidente para las construcciones que, sobre ellos, se apoyen. Cualquier edificación u obra civil que se ubique en estos llenos, puede verse afectada en forma severa por los procesos geotécnicos ya citados, que pueden ser lentos y continuos, tales como asentamientos desfavorables, o eventos intempestivos como sismos, por ejemplo, que pueden llevar al colapso de las estructuras.

Por el grave peligro en que se encuentran algunas viviendas actualmente, es urgente y prioritario establecer e implementar planes de contingencia que incluyan, entre otros aspectos, el inventario de edificaciones afectadas, la evaluación de daños, el monitoreo del avance del fenómeno, especialmente en períodos invernales; y alternativas para la reubicación de familias afectadas.

Previamente a la realización de proyectos de desarrollo urbano, se deben realizar estudios geotécnicos detallados que permitan determinar las limitaciones geotécnicas de cada sitio en particular y se deben construir las obras de control, estabilización y manejo.

## 2 PROBABILIDAD DE FALLA

Este capítulo tiene por objeto evaluar la probabilidad de falla y deformaciones probables bajo condiciones extremas, mediante los métodos de análisis utilizados para la evaluación de la estabilidad de las laderas. En general, el tipo de modelo utilizado depende en gran medida del mecanismo de falla identificado. Aspectos tales como el tipo de material, profundidad de la superficie de falla y la posición del nivel freático, fueron obtenidos de los registros de perforación y del monitoreo adelantado.

La probabilidad de falla y deformación probable para cada una de las unidades geomorfológicas y geotécnicas, se realizó mediante el modelamiento geotécnico e implementación de diversas herramientas numéricas y computacionales. En esta etapa se utilizaron los resultados numéricos de los ensayos de laboratorio, así como las propiedades de los materiales de las diferentes capas y demás datos obtenidos en las exploraciones realizadas.

Para esta etapa se requiere del conocimiento de la geometría representativa de la unidad geomorfológica en estudio y las propiedades geotécnicas. Los movimientos locales existentes de remoción en masa también se sometieron a estos análisis, especialmente en aquellas zonas donde fue posible observar en el terreno, la existencia de estos eventos; en este último caso, la geometría de la ladera corresponde a aquella donde efectivamente se observó la remoción del material.

La evaluación de la probabilidad de falla incluye métodos probabilísticos, los cuales se modelaron bajo un escenario que se consideró tanto las condiciones de saturación del material, como las aceleraciones sísmicas correspondientes. En estas condiciones se analizaron los siguientes casos:

- Condición en el momento de la realización de sondeos.
- Condición en el momento de la realización de sondeos con sismo.
- Material saturado.
- Material saturado con sismo.

Los análisis de estabilidad y cálculo de factores de seguridad asociados a la probabilidad de falla se realizaron con el programa SLIDE 6.0 (Rocscience, 2012), asumiendo mecanismo de falla circular y no circular. Además, se utilizó un análisis probabilístico de Monte Carlo y una distribución estadística Normal, con valores de los parámetros variando entre el valor medio determinado en los ensayos de laboratorio hasta ese valor más o menos su desviación estándar.

Si bien la probabilidad de falla obtenida por métodos determinísticos es un valor numérico, es necesario emplear una probabilidad cualitativa, de manera que la probabilidad se represente con mayor peso numérico en la medida en que sea mayor, de acuerdo con una escala de evaluación comparable con las escalas adoptadas para cada una de las variables que conforman la amenaza por remoción en masa. La escala cualitativa se da a partir de la relación entre los factores de seguridad determinados y la probabilidad de falla obtenida para cada caso. Por ejemplo, en los análisis probabilísticos, una probabilidad de falla del 50% tiene un factor de seguridad asociado igual o menor a 1. Este valor es considerado el límite para designar la estabilidad o inestabilidad de una ladera por métodos determinísticos, aunque no exista total certeza de la ocurrencia del evento, de ahí que la probabilidad asociada superior al 50% deba ser considerada alta o muy alta por tratarse de un sitio inestable. Bajo estas consideraciones, se ha establecido una valoración cualitativa para la probabilidad de falla relacionada con el factor de seguridad, de acuerdo a la valoración se presenta en la tabla 30:

**Tabla 30.** Relación entre probabilidad numérica y cualitativa para la evaluación de probabilidad de falla.

PROBABILIDAD CUALITATIVA	VALORACIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	
		ESTÁTICO	DINÁMICO
MUY ALTA	5	< 1,0	< 0,8
ALTA	4	1,0-1,2	0,8-1,0
MEDIA	3	1,2-1,5	1,0-1,2
BAJA	2	1,5-2,0	1,2-1,5
MUY BAJA	1	>2,0	>1,5

Fuente: Elaboración Propia

Las deformaciones probables obtenidas son, en todos los casos, valores numéricos. De una manera similar, es necesario establecer unos límites de deformación, de manera que la probabilidad de falla por deformación se represente con pesos de acuerdo con una escala de evaluación comparable con las escalas adoptadas para cada una de las variables que conforman la amenaza por remoción en masa.

La escala se justifica en la medida que la Norma NSR-10 establece unas deformaciones o asentamientos diferenciales máximos definidos en el numeral H.4.8 del título H (tabla 31). Según la norma, movimientos diferenciales mayores a los estipulados pueden producir daños en las edificaciones de acuerdo con su sistema estructural. Por ejemplo, edificaciones con sistema estructural de muros de carga en mampostería, muy común en el municipio, tienen severas limitaciones en cuanto a movimientos diferenciales, de acuerdo con la tabla citada.

**Tabla 31.** Valores máximos de asentamientos diferenciales calculados, expresados en función de la distancia entre apoyos o columnas.

Tipo de construcción	$\Delta_{max}$
(a) Edificaciones con muros y acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	$\frac{\ell}{1000}$
(b) Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería	$\frac{\ell}{500}$
(c) Edificaciones con pórticos en concreto, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	$\frac{\ell}{300}$
(d) Edificaciones en estructura metálica, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	$\frac{\ell}{160}$

Fuente: NSR 10, Título H, Tabla H.4.9-1.

Las deformaciones probables modeladas, están enfocados en identificar movimientos superficiales que pueden ocasionar fallas en las edificaciones susceptibles a deformaciones, por lo que han sido asociadas a probabilidad de falla cualitativa. A continuación en la tabla 32 se presenta la relación entre deformación probable y probabilidad de falla cualitativa adoptada.

**Tabla 32.** Relación entre deformación probable y probabilidad de falla cualitativa.

PROBABILIDAD CUALITATIVA	VALORACIÓN	DEFORMACIÓN (mm)
MUY ALTA	5	>12,0
ALTA	4	8-12,0
MEDIA	3	4,0-8,0
BAJA	2	2,0-4,0
MUY BAJA	1	>2,0

Fuente: Elaboración Propia

Más adelante se presenta un análisis representativo, sector por sector, donde se evalúan la probabilidad de falla y las deformaciones probables, adicionalmente se evalúan laderas locales donde se han evidenciado movimientos, con base en lo observado en terreno; igualmente se han tenido en cuenta los antecedentes que se tienen de la zona de estudio. Estos resultados se espacializaron en ARGIS, teniendo como resultado el mapa de probabilidad de falla y el mapa de deformaciones probables, con valores de probabilidad de falla cualitativa. Estos dos planos se cruzan con pesos iguales y dan como resultado el mapa de probabilidad de falla.



## 2.1 SISMICIDAD

El departamento de Santander se encuentra localizado en la parte occidental de la cordillera oriental (sector donde la cordillera cambió de rumbo de NE a NW) y el valle medio del río Magdalena, regiones tectónicamente complejas y sísmicamente activas, que ocasionalmente se vuelve preocupante por la intensidad y frecuencia de los sismos. En este departamento entre 1920 y 1991, se han registrado en total 76 sismos de magnitud entre 4 y 6 grados en la escala de Richter.

Estudios realizados por el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras (INGEOMINAS) ubican al Departamento de Santander dentro de las zonas de riesgo sísmico alto; su principal actividad sísmica es debida al Nido Sísmico de Bucaramanga (sector Umpalá), con profundidades que varían entre 140 y 180 Km

El inventario histórico del Padre Jesús Emilio Ramírez, denominada “Historia de los terremotos en Colombia” compila los principales datos sobre los sismos ocurridos en el país desde los tiempos de la conquista (siglo XVI) hasta el año de 1963. De los 597 sismos que reporta para todo el territorio nacional, 111 aparecen ubicados con epicentro en algún lugar del departamento de Santander. La reedición de la obra del padre Ramírez, donde se publica un nuevo catálogo de sismos hasta 1974, muestra la constante actividad sísmica de la zona del Macizo de Santander, en cuyo borde occidental se destacan las localidades de Umpalá y Cepitá.

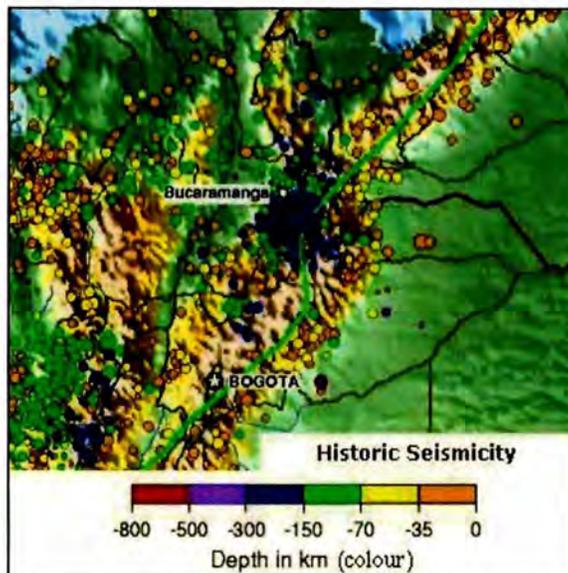
En el inventario histórico del padre Jesús Emilio Ramírez, no aparecen noticias de sismos con epicentro en Vélez, pero si se observa que hay datos de sismos de zonas cercanas que afectaron en el pasado el Municipio.

La actividad sísmica por ser bien definida en Santander, se denomina “nido” o “enjambre sísmico de Bucaramanga”, cuyos hipocentros se han detectado instrumentalmente a una profundidad de 150 km aproximadamente, 50 km al sur de Bucaramanga entre las localidades de Umpalá y Cepitá, en donde se registra un promedio diario de cinco sismos de baja magnitud en la escala de Richter. El nido sísmico de Bucaramanga ha sido catalogado como una de las zonas de mayor actividad sísmica en el mundo.

En 1993 la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) instrumentó el “Nido Sísmico” y actualmente registra información continua de actividad, conformando un foco amplio con magnitudes entre 2.6 y >5.5 en escala de Richter de focos profundos (140-180 Km.) a superficiales (35-70 Km.) relacionados con las Fallas de Bucaramanga, Suárez, La Salina, Mulatos y Cimitarra (Díaz y Suárez, 1998).

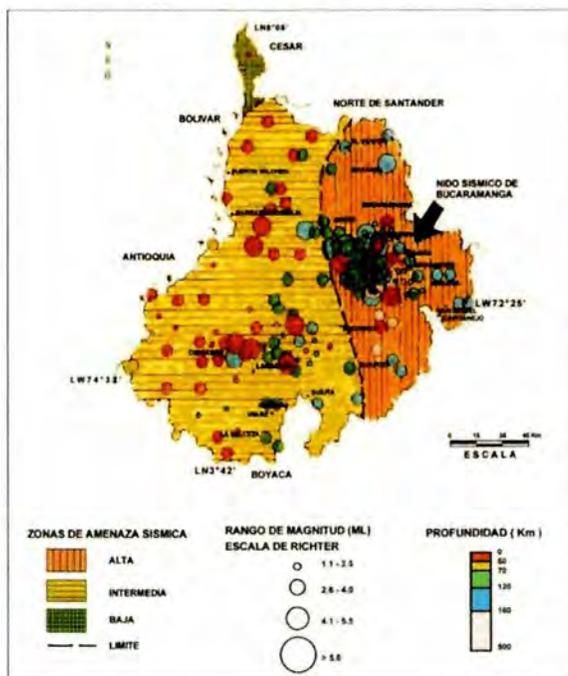
En el mapa de sismos del USGS (figura 46), se observa un clúster de sismos profundos (más de 150 Km) en la zona de Bucaramanga y casi nula en el corregimiento de Vélez.

Figura 46. Sismicidad historia de los sectores aledaños al departamento de Santander.



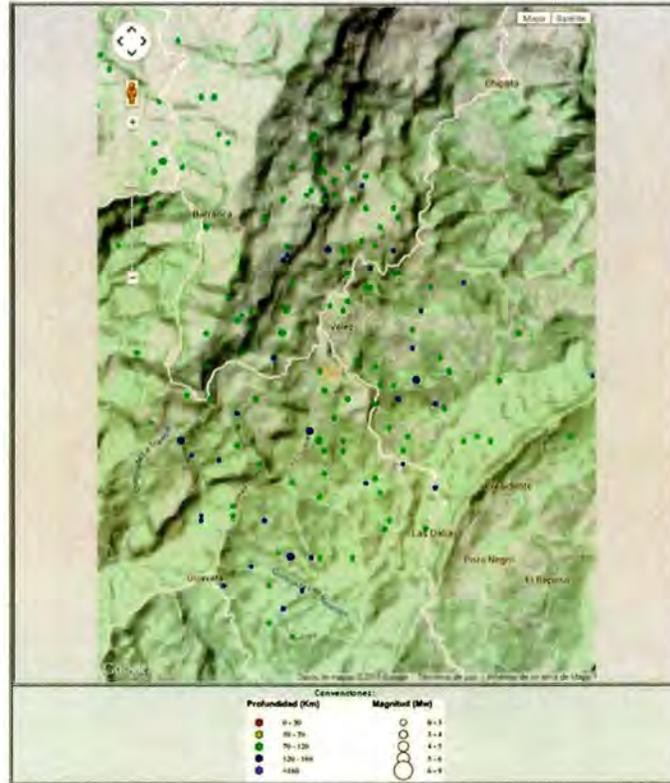
Fuente: Ingeominas

Figura 47. Zonas de amenaza sísmica en el departamento de Santander, epicentros sísmicos registrados por la Red Sismológica Nacional (junio de 1993 a marzo de 1997).



Fuente: Ingeominas

**Figura 48.** Sismos presentados en el área cercana al Municipio con diferentes intensidades y profundidades.



Fuente: Servicio Geológico Nacional

Históricamente el Servicio Geológico Nacional tiene registrados 145 sismos desde 1993 hasta la actualidad aunque su intensidad es leve. En el registro del servicio geológico Nacional aparecen los siguientes sismos teniendo como zona epicentral el municipio de Vélez, con magnitud igual o mayor de 3:

**Tabla 33.** Registro sísmico con magnitud mayor a 3 y epicentro en el municipio de Vélez.

Fecha aaaa/mm/dd	Hora UTC hh:mm:ss	Magnitud MI	Longitud Grados	Latitud Grados	Departamento	Municipio	Profundidad Km	Estado
21/09/1994	00:11:41	3.2	-73.674	6.025	SANTANDER	VELEZ	120	Revisado
29/12/1996	15:29:27	3	-73.682	5.959	SANTANDER	VELEZ	122.1	Revisado
10/03/2000	06:15:14	3.3	-73.684	6.007	SANTANDER	VELEZ	112	Revisado
12/07/2001	18:33:04	3.5	-73.678	5.986	SANTANDER	VELEZ	128	Revisado
18/07/2001	06:05:25	3.4	-73.655	5.997	SANTANDER	VELEZ	124.1	Revisado
26/06/2002	00:31:07	3.1	-73.683	6.012	SANTANDER	VELEZ	113.1	Revisado
17/06/2003	14:24:49	3.1	-73.706	5.984	SANTANDER	VELEZ	121.1	Revisado
04/05/2008	06:44:06	3	-73.676	5.984	SANTANDER	VELEZ	119.6	Revisado
19/02/2015	16:09:07	3.1	-73.71	6.044	SANTANDER	VELEZ	109.1	Revisado
13/05/2015	16:57:30	3.1	-73.726	6.055	SANTANDER	VELEZ	111.9	Preliminar

Fuente: Servicio Geológico Nacional

### 2.1.1 Marco tectónico general

Las fallas activas con longitud suficiente para generar sismos importantes en Vélez son las fallas de Bucaramanga, del Suárez, La Salina y del Piedemonte llanero. Teniendo en cuenta que los vectores de movimiento de los bloques tectónicos (ver plano) son principalmente hacia el oriente y las fallas geológicas son N-S, se generan unos esfuerzos de compresión; sin embargo, la magnitud de las deformaciones para el caso de Vélez es muy inferior a la de los casos de Haití o Chile e incluso del caso de Armenia; Igualmente las deformaciones acumuladas son muy pequeñas.

#### 2.1.1.1 Falla de Bucaramanga – Santa Marta

Se encuentra hacia la parte oriental del área de estudio; su trazo es ligeramente curvilíneo y su dirección es localmente Noroeste aunque regionalmente se torne Norte – Sur y Noreste. Según Ward et al (1973) basados en su longitud y trazo es principalmente una falla de rumbo, sin embargo en la zona de estudio se presentan evidencias claras de desplazamiento vertical, que representa un levantamiento del bloque este hacia el oeste, tesis propuesta por Julivert (1958, 1961 y 1970), quien la clasifica como una falla Inversa de alto ángulo.

#### 2.1.1.2 Falla del Suárez

Esta falla se extiende por una longitud de unos 120 km desde Barbosa al sur hasta la falla de Bucaramanga-Santa Marta 5 km al norte de la capital santandereana; su trazo tiene una dirección N20°E y N25°E, con inclinación al occidente y sigue el curso de los ríos Suárez y río de Oro. Es una falla inversa de ángulo alto, con una componente vertical importante, tiene una velocidad de desplazamiento vertical de 0,1 mm/año; además, se trata de una falla de rumbo con desplazamiento sinistral. El desplazamiento vertical se ha calculado entre 400 y 2.300 m. La falla del Suárez, al occidente del pueblo de Girón afecta capas de la formación Girón, las cuales se pliegan por arrastre, alcanzando posiciones verticales y en algunos casos, invertidas. En cercanías de la falla se observa un fuerte fracturamiento y un alto grado de meteorización de las rocas hasta el punto de llegar a confundirse con depósitos cuaternarios.

#### 2.1.1.3 Falla La Salina

Se encuentra localizada al occidente del departamento de Santander; su dirección regional es NE, pero localmente varía a NS y NW, pudiéndose reconocer su longitud desde su límite con Boyacá al sur hasta el norte del departamento. Pasa por terrenos del costado norte del área rural del municipio de Vélez, Vereda Puerto Rico. Es una falla inversa de ángulo alto, inclinada al oriente y también tiene desplazamiento de rumbo lateral derecho, la cual constituye el límite entre el valle medio del Magdalena y la cordillera oriental. Al oriente de su trazo se presentan rocas del cretácico superior y al occidente está en contacto con rocas terciarias; se calcula un salto hasta de unos 1.200 m en el contacto entre las formaciones Umir y Lizama. Esta falla está desplazada a la izquierda por la falla de Landázuri.

## 2.1.2 Requerimientos amenaza sísmica NSR-10

### 2.1.2.1 Zona de amenaza sísmica (Numeral A.2.3 - NSR-10)

De acuerdo al mapa de amenaza sísmica, el municipio de Vélez se encuentra localizado en una zona de amenaza sísmica intermedia (figura 49- Tabla A.2.3-2 NSR-10)

Figura 49. Zonas de amenaza sísmica de Colombia.

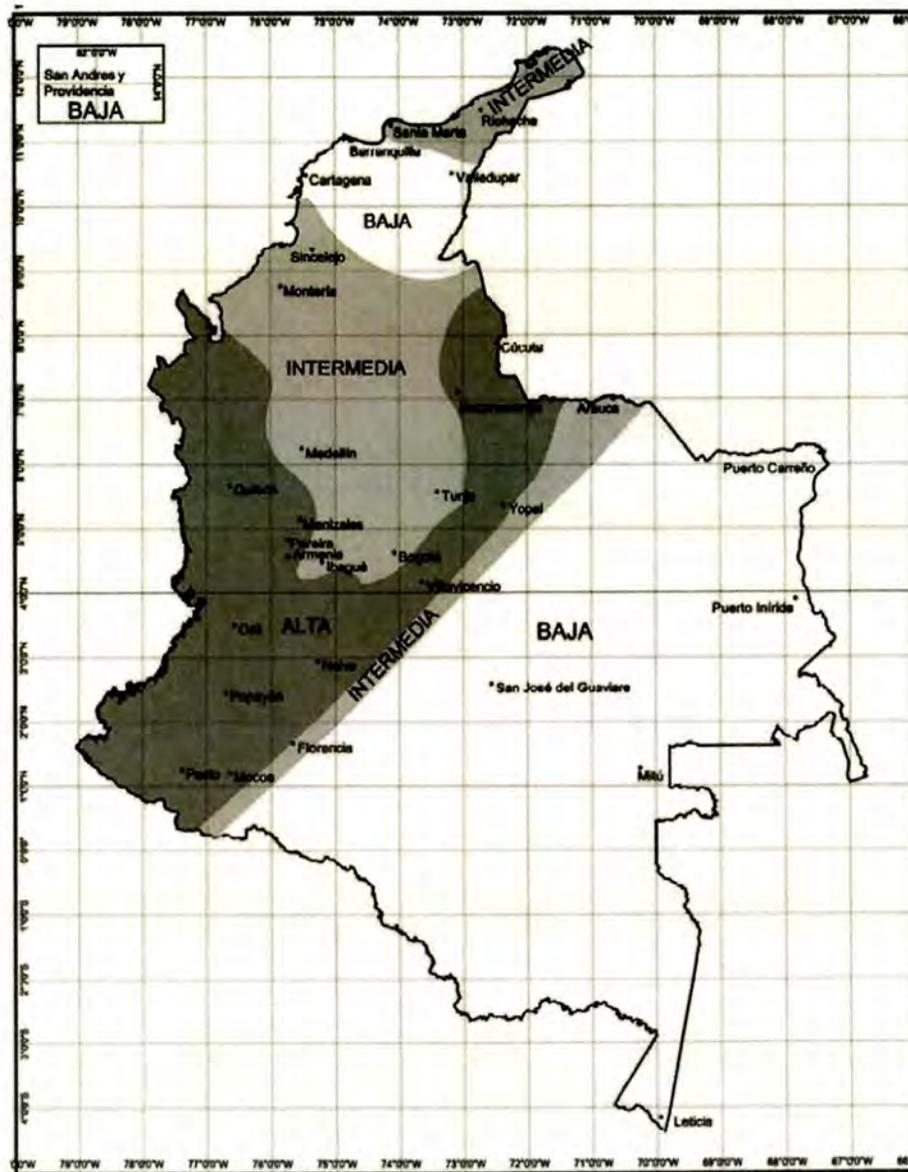


Figura A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de  $A_h$  y  $A_v$

Fuente: NSR 10



### 2.1.2.2 Valores de $A_a$ y $A_v$ (Numeral A.2.3 - NSR-10)

De acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR 10, los movimientos sísmicos de diseño son los siguientes:

- $A_a$  (Aceleración horizontal pico efectivo en roca): 0,15 (Ver Figura A.2.3-2 - Tabla A.2.3-2 - NSR-10)
- $A_v$  (Aceleración horizontal pico efectivo): 0,15 (Ver Figura A.2.3-3 - Tabla A.2.3-2 NSR-10)

### 2.1.2.3 Efectos locales (Numeral A.2.4 NSR-10)

- **Clasificación de perfil de suelo:** De acuerdo al NSR-10 (Ver Tabla A.2.4-1) el tipo y perfil de suelo es: D
- Perfil de suelo rígido que cumple con la condición  $50 > \bar{N} > 15$
- Donde  $N$  = número medio de golpes del ensayo de penetración estándar realizado de acuerdo a la norma ASTM D1586 haciendo corrección por energía N60.

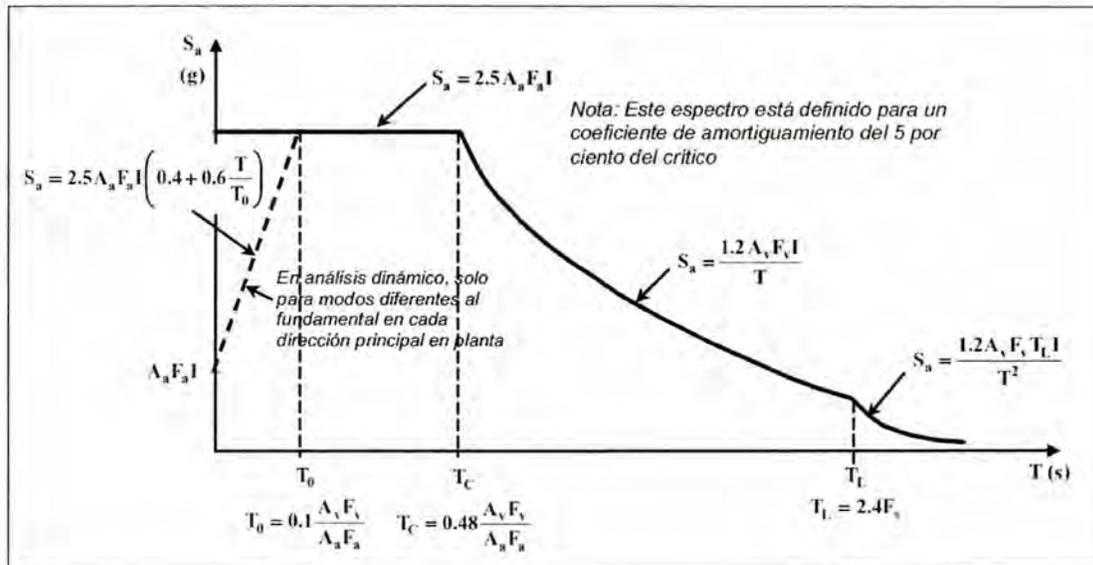
### 2.1.2.4 Criterios del espectro de diseño (Numeral A.2.6 NSR-10)

Para el análisis de la acción sísmica se recomienda utilizar el espectro elástico de diseño de la Norma NSR-10 (ver figura 48), calculado mediante los siguientes parámetros, el cual está definido para un coeficiente de amortiguamiento del 5% del esfuerzo crítico.

Dónde:

- $S_a$ : Valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado.
- $A_a$ : Aceleración horizontal pico efectivo en roca  $A_a = 0,15$
- $A_v$ : Aceleración vertical pico efectivo  $A_v = 0,15$
- $F_a$ : Coeficiente de amplificación  $F_a$  de períodos cortos del espectro (Ver Tabla A.2.4-3 – NSR-10).  $F_a = 1,5$
- $F_v$ : Coeficiente de amplificación  $F_v$  de períodos intermedios del espectro (Ver Tabla A.2.4-4 – NSR-10).  $F_v = 2,1$
- $I$ : Coeficiente de importancia (Numeral A.2.5 - NSR-10)
- Grupo de uso  $I$ : Estructuras de Ocupación Normal (Ver Tabla A.2.5-1 – NSR-10).
- $T_0$ : Periodo de vibración al cual inicia la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones.
- $T_c$ : Periodo de vibración correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño para periodos cortos y la parte descendente del mismo.
- $T_L$ : Periodo de vibración correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño para periodos largos.

**Figura 50.** Espectro elástico de aceleraciones de diseño con fracción de g.



Fuente: Figura A.2.6-1 - NSR - 10

Cálculo de periodos:

$$T_0 = 0,1 \frac{0,15 * 2,1}{0,15 * 1,5} = 0,14$$

$$T_c = 0,48 \frac{0,15 * 2,1}{0,15 * 1,5} = 0,672$$

$$T_L = 2,4 * 2,1 = 5,04$$

$$S_a = 2,5 * 0,15 * 1,5 * 1 = 0,5625g \text{ para } T < T_c$$

$$S_a = \frac{1,2 * 0,15 * 2,1 * 1}{T} = \frac{0,378}{T} g \text{ para } T_c < T < T_L$$

$$S_a = \frac{1,2 * 0,15 * 2,1 * 5,04 * 1}{T^2} = \frac{1,905}{T^2} g \text{ para } T > T_L$$

## 2.2 MODELAMIENTO GEOTÉCNICO

Los análisis que se presentan a continuación están basados en la teoría de equilibrio límite y elementos finitos. Para llevar a cabo estos análisis se partió de la sectorización geotécnica obtenida anteriormente; a su vez se realizó un análisis en los sectores donde se identificaron movimientos. De estos procesos de remoción en masa se identificó el mecanismo de falla presente, litología del material involucrado, así como la caracterización geomecánica del material aflorante. Los mecanismos de falla identificados corresponden básicamente a procesos de reptación o creep y rotacional (compuesta en algunos casos, es decir rotacional y traslacional). A continuación se hace un breve recuento de las principales características de los métodos numéricos utilizados en los análisis.

Para el análisis de probabilidad de falla se realizaron modelos geotécnicos para cada sitio en particular y se utilizó el software para computador SLIDE, Versión 6.0 de ROCSCIENCE Int, Toronto, Ontario, Canadá. SLIDE es un producto de Software que utiliza la teoría de equilibrio límite para obtener los factores de seguridad al deslizamiento de los taludes; para este caso se utilizó un análisis estadístico de Monte-Carlo. Aunque el programa permite trabajar con doce diferentes métodos de análisis, para objeto del presente estudio se trabajó conjuntamente con los siguientes cuatro métodos:

1. Método ordinario o de Fellenius
2. Método Bishop simplificado
3. Método de Janbú simplificado
4. Método de Spencer

Los resultados de los factores de seguridad se presentan para cada uno de los métodos indicados. Se utilizó el sistema de parámetros totales de resistencia de acuerdo al sistema de Mohr-Coulomb obtenidos en los ensayos de Corte Directo Drenado, de los sectores adyacentes al perfil en estudio y la determinación de su valor medio y variación estándar.

Para el análisis de deformaciones se realizaron modelos geotécnicos y se utilizó el software para computador PLAXIS 2D desarrollado por la Universidad de Delft en Holanda, que emplea el método de los Elementos Finitos para calcular los esfuerzos y deformaciones. Para el análisis se utilizó el modelo de Mohr-Coulomb con plasticidad perfecta. La plasticidad está asociada con la no recuperación de las deformaciones. Los parámetros básicos del modelo de Mohr-Coulomb son los siguientes:

$E$  = módulo de Young ( $\text{kN/m}^2$ )  
 $\nu$  = relación de Poisson  
 $\phi$  = ángulo de fricción  
 $c$  = cohesión

Estos valores fueron obtenidos mediante los ensayos de corte directo y correlaciones con los valores de sondeo SPT.

A continuación se presentan algunos de los resultados obtenidos en los modelos geotécnicos realizados:

### 2.2.1 Sector barrio San Luis frente a la cárcel

En la carrera 4 frente a la Cárcel, se presentan problemas de agrietamiento y hundimiento de las viviendas existentes, las cuales, en su mayoría se encuentran desalojadas y se evidencia un proceso de remoción en masa, producto de suelos sueltos superficiales, niveles freáticos altos y mal manejo de aguas superficiales. En la tomografía realizada en este sector se evidencia la presencia de suelos saturados, comprobados en la exploración geotécnica (sondeo 8).

Desde el punto de vista geotécnico, la zona presenta suelos superficiales compuestos por limos arcillosos plásticos de la formación Paja. En el mapa de unidades geotécnicas, corresponden a suelos de baja consistencia con profundidad de suelo competente mayor de 3. Teniendo presente lo anterior, se procedió a realizar los respectivos análisis de estabilidad para la condición precedente y para la condición actual con obras de mitigación. Los resultados para la condición sin obras muestran claramente que aún en el caso de no ser intervenidos estos terrenos, se incrementarán las zonas afectadas por los desplazamientos del suelo.

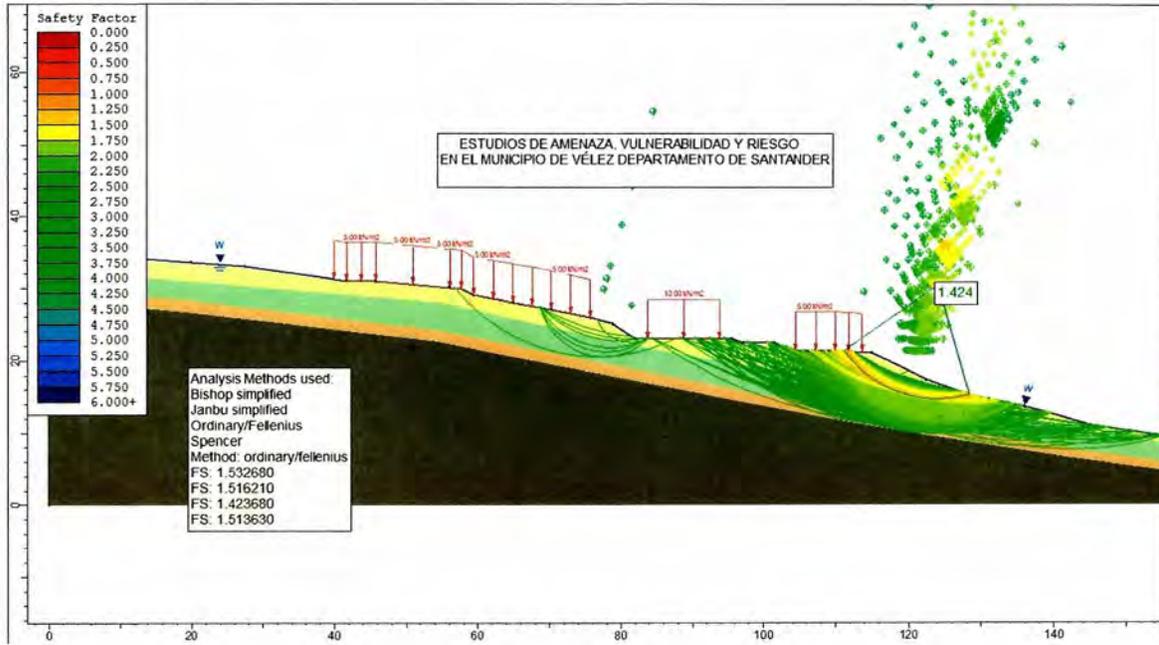
**Figura 51.** Vista general de sectores aledaños al Barrio San Luis.



Fuente: Elaboración Propia

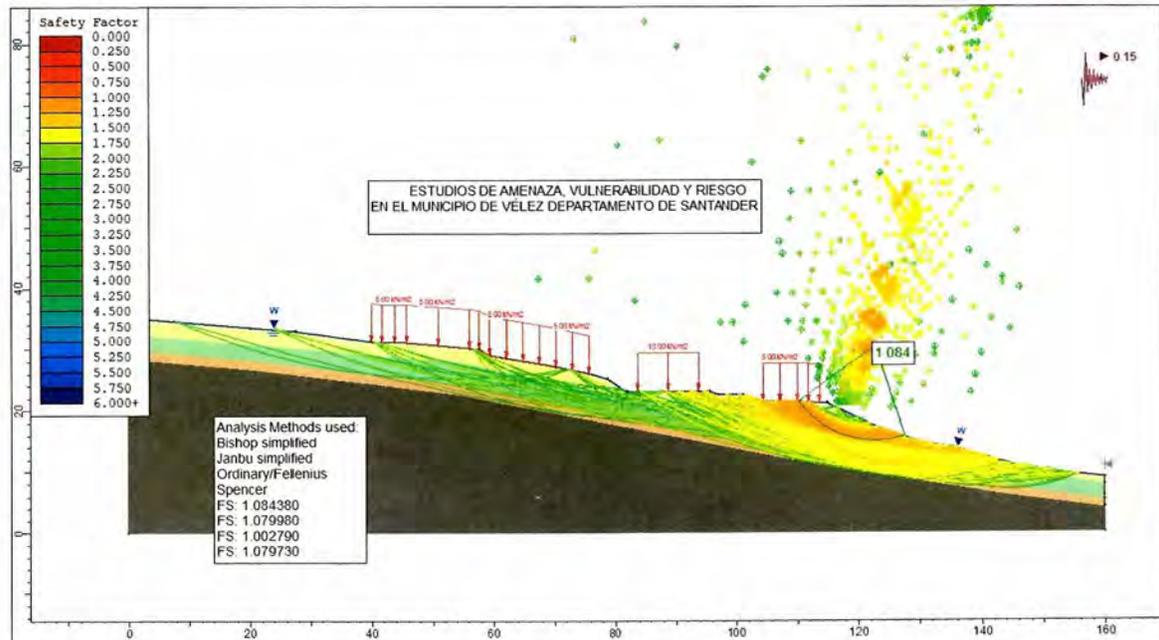
A continuación se presentan los resultados de los modelos geotécnicos.

Figura 52. Análisis estático falla circular, sector de San Luis.



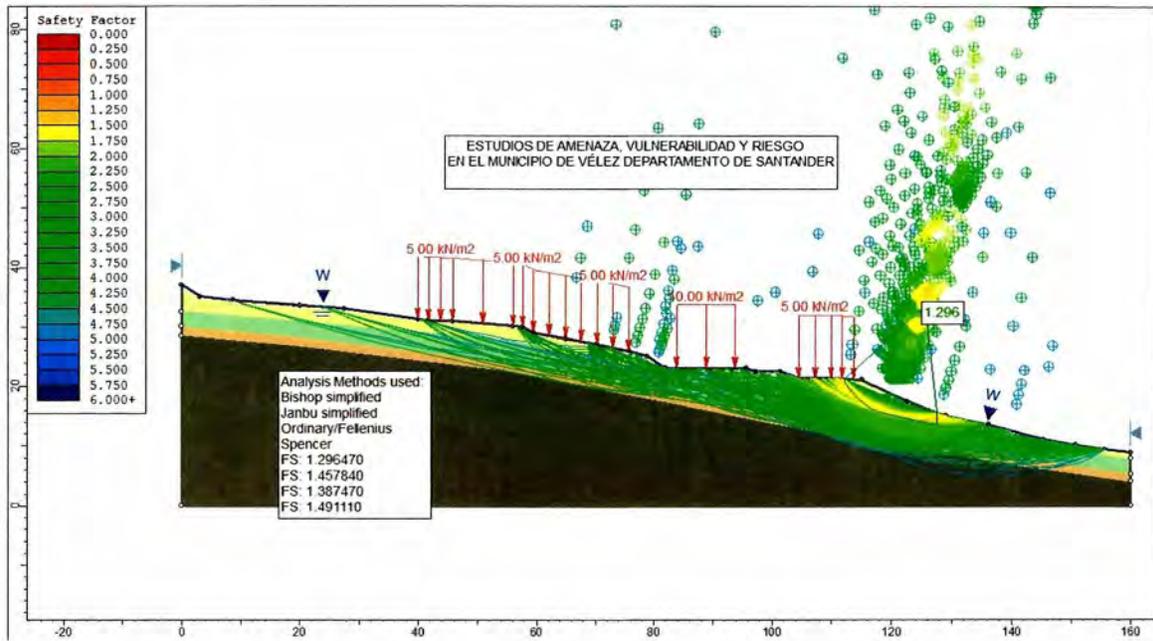
Fuente: Elaboración Propia

Figura 53. Análisis dinámico falla circular, aceleración sísmica de 0.15g, sector de San Luis.



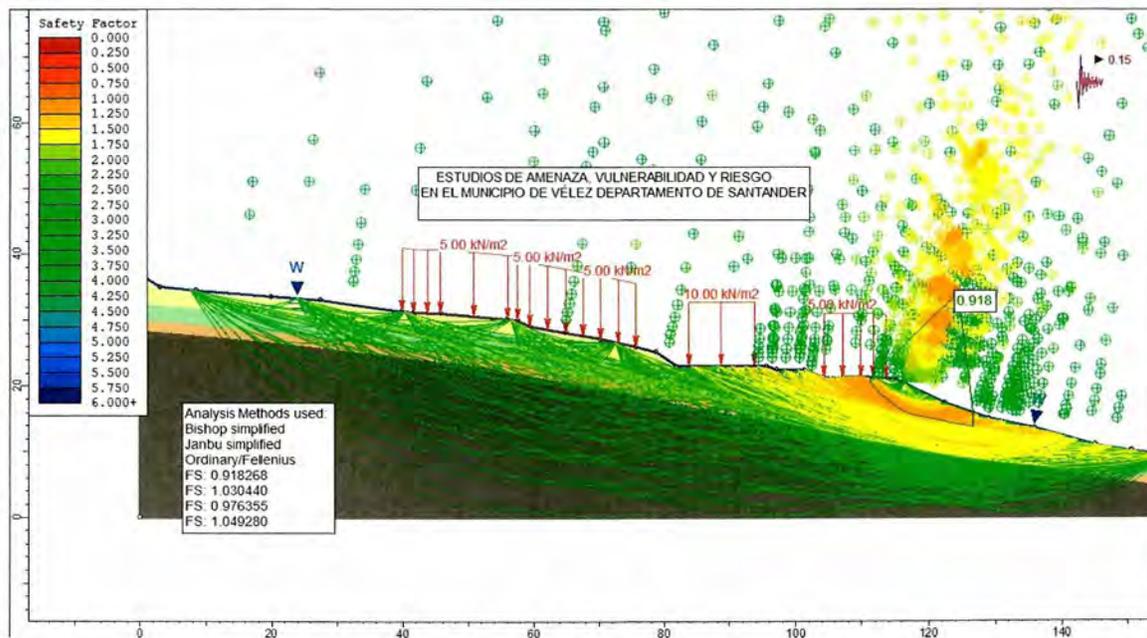
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 54. Análisis estático falla no circular, sector de San Luis.**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 55. Análisis dinámico falla no circular, aceración sísmica de 0.15g, sector de San Luis.**



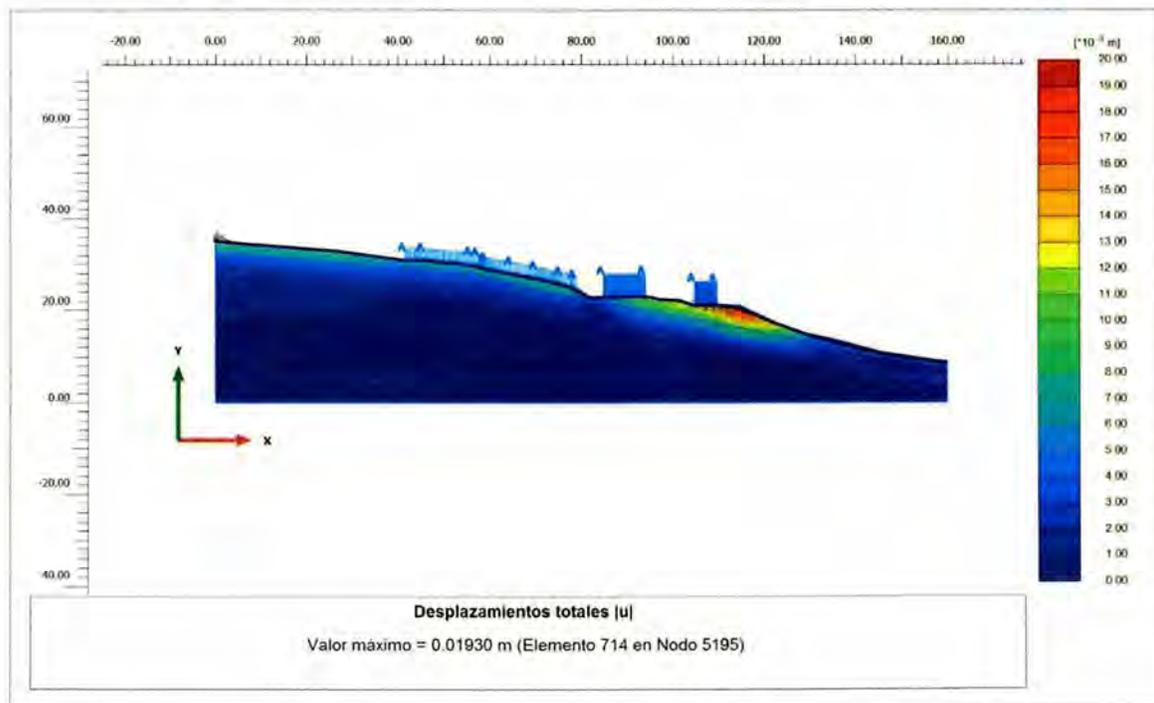
Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con los análisis de estabilidad realizados, se puede afirmar que el talud saturado y con sismo, es susceptible a los movimientos en masa. Las pobres características geomecánicas del material aflorante en la zona, la existencia de niveles freáticos altos, el mal manejo de aguas lluvias y residuales y la mala cimentación que presenta la mayoría de viviendas, han generado los problemas de agrietamiento y movimientos en las estructuras. Es importante destacar que el material involucrado y que genera la mayor parte de los problemas de inestabilidad en la zona corresponde precisamente a materiales sueltos meteorizados a partir de los materiales limo arcillosos de la formación Paja. Este material se caracteriza por presentar bajos parámetros de resistencia y en presencia de agua tiende a comportarse como un fluido.

El flujo de agua subterránea que viaja a través de la limolita fracturada y la inyección permanente de aguas negras y aguas del acueducto proveniente del rompimiento de las tuberías en este sector, hace necesario la intervención mediante obras de mitigación y adicionalmente la realización de investigaciones pertinentes en busca de tuberías afectadas.

A continuación en la figura 56 se presenta el análisis del esfuerzo de deformación, el cual nos permite ver las deformaciones probables que se pueden presentar en el sector de la cárcel en el barrio San Luis.

**Figura 56.** Análisis esfuerzo deformación, sector la Cárcel barrio San Luis.



Fuente: Elaboración Propia

El modelo realizado muestra deformaciones entre 15 -19 milímetros (probabilidad cualitativa = 5, Muy alto) en el sector de las viviendas existentes al costado oriental de la carrera 4 y deformaciones entre 5 a 10 milímetros en el sector donde se encuentra la cárcel (probabilidad cualitativa = 3 y 4, Medio y Alto). A continuación en la Tabla 34 se presenta el resumen de los factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa:

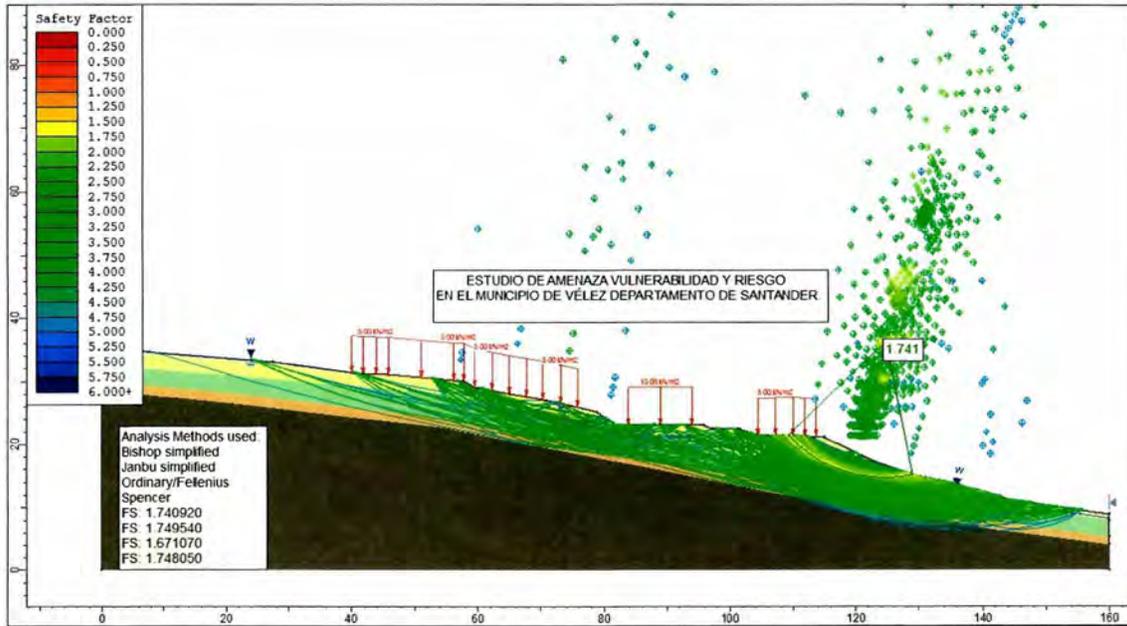
**Tabla 34.** Factores de seguridad y probabilidad cualitativa, sector aledaño a la cárcel en el barrio San Luis.

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer	PROBABILIDAD CUALITATIVA
Análisis estático falla circular, sector de San Luis.	1.4236	1.5326	1.5162	1.5136	MEDIO
Análisis dinámico falla circular, aceleración sísmica de 0.15g, sector de San Luis.	1.0028	1.0843	1.0799	1.0797	MEDIO
Análisis estático falla no circular, sector de San Luis.	1.3874	1.2964	1.4578	1.4911	MEDIO
Análisis dinámico falla no circular, aceleración sísmica de 0.15g, sector de San Luis.	0.9763	0.9182	1.0304	1.0492	ALTO

Fuente: Elaboración Propia

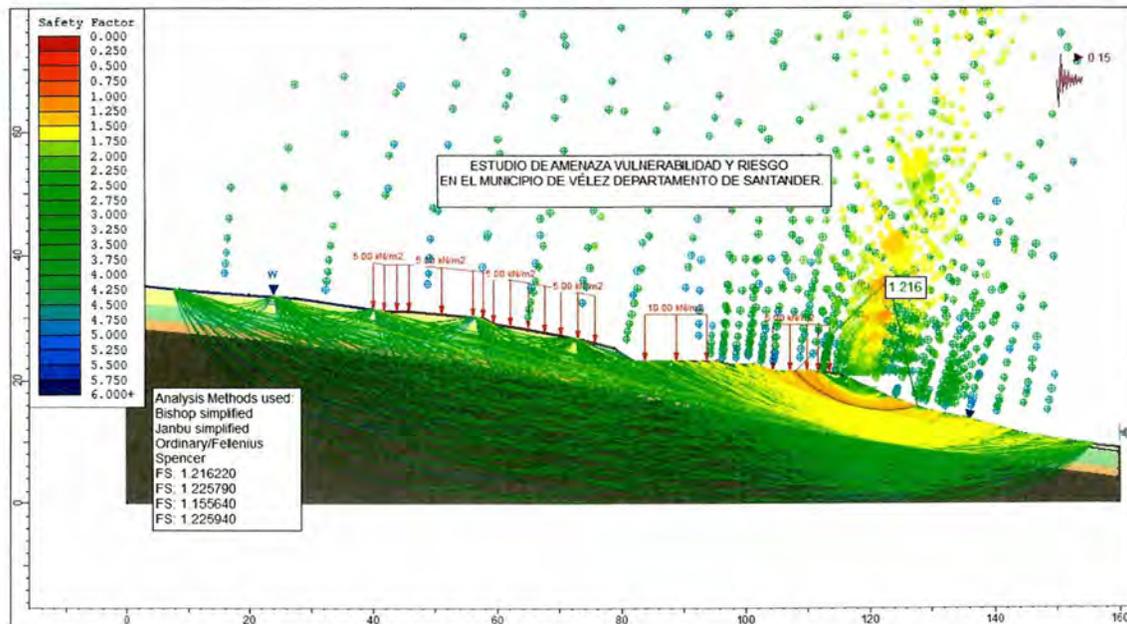
Los resultados para la condición sin obras muestran claramente que el terreno debe ser intervenido. Las obras propuestas consisten en la construcción de filtros longitudinales siguiendo la carrera 4, con los cuales se busca abatir el nivel freático.

**Figura 57.** Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, sector de San Luis.



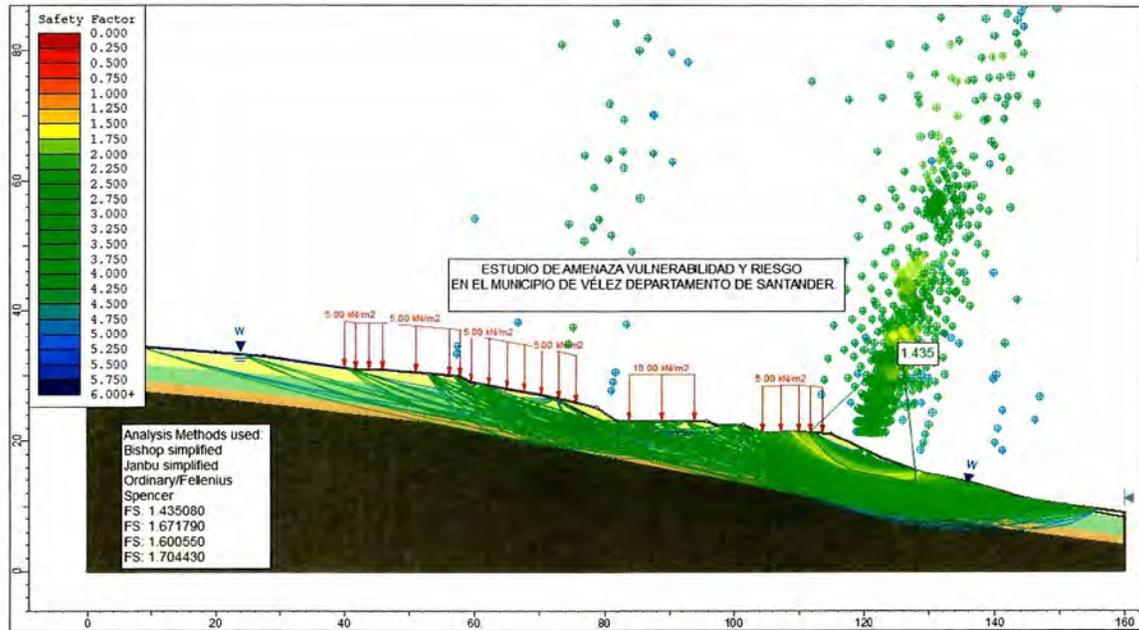
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 58.** Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, aceleración sísmica de 0.15g, sector de San Luis.



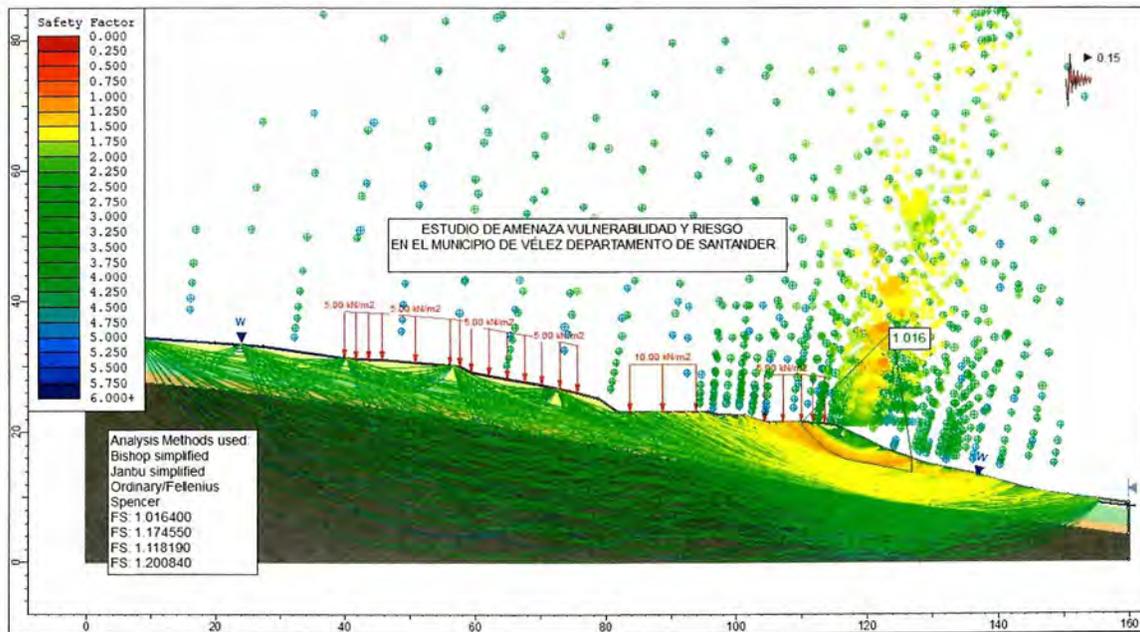
Fuente: Elaboración Propia

Figura 59. Análisis estático falla no circular, con obras de mitigación, sector de San Luis.



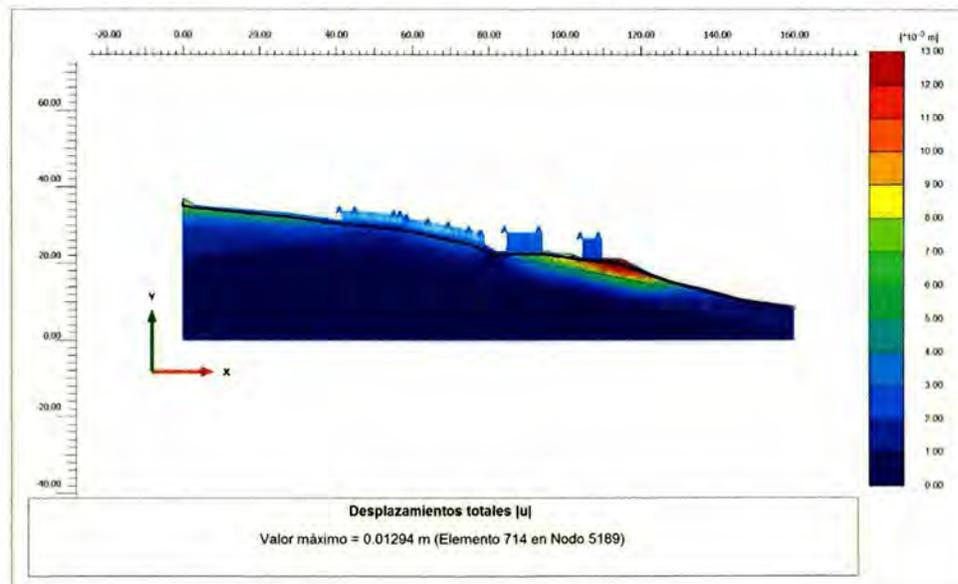
Fuente: Elaboración Propia

Figura 60. Análisis dinámico falla no circular, con obras de mitigación, aceración sísmica de 0.15g, sector de San Luis.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 61.** Análisis esfuerzo deformación obras de mitigación, sector la Cárcel barrio San Luis.



Fuente: Elaboración Propia

El modelo con obras de mitigación (figuras 57 a 60), muestra una reducción en las deformaciones pasando de 19 a 12 milímetros (pasando de probabilidad cualitativa Muy alto a Alta) en el sector de las viviendas existentes al costado oriental de la carrera 4 y deformaciones de 10 a 5 milímetros en el sector donde se encuentra la cárcel. A continuación en la tabla 35, se presenta el resumen de los factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa:

**Tabla 35.** Factores de seguridad y probabilidad cualitativa con obras de mitigación, sector aldeaño a la cárcel en el barrio San Luis.

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer	Probabilidad cualitativa
Análisis estático falla circular, sector de San Luis.	1.6710	1.7409	1.7495	1.7481	BAJO
Análisis dinámico falla circular, aceleración sísmica de 0.15g, sector de San Luis.	1.2162	1.2162	1.2257	1.2256	BAJO
Análisis estático falla no circular, sector de San Luis.	1.435	1.672	1.501	1.704	MEDIO
Análisis dinámico falla no circular, aceleración sísmica de 0.15g, sector de San Luis.	1.016	1.175	1.118	1.201	ALTO

Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.2 Sector barrio San Luis costado sur quebrada Las Flores

Este análisis corresponde a un sector aledaño al barrio San Luis, costado sur de la quebrada las Flores, entre las carrera 2 y 3 con calles 12 a la 12<sup>a</sup>, donde se encuentran viviendas con evidencias de asentamientos y algunas grietas debidas probablemente a la presencia de fundaciones en materiales sueltos. Igualmente, en el cruce de la quebrada las Flores, de acuerdo con los procesos morfodinámicos identificados, se presenta avance hacia aguas arriba de su lento pero activo proceso de erosión regresiva o remontante y que se traduce en laterales movimientos de remoción en masa hacia ella de los terrenos adyacentes no estables geológicamente. Desde el punto de vista geotécnico, en la zona afloran superficialmente suelos antropogénicos compuestos por limos arcillosos plásticos. En el mapa de unidades geológicas corresponden a rellenos antropogénicos de baja consistencia con profundidad de suelo competente a más de 3 metros. Teniendo presente lo anterior, se procedió a realizar los respectivos análisis de estabilidad para la condición precedente y para la condición actual con obras de mitigación. Los resultados para la condición sin obras muestran claramente que aún en el caso de no ser intervenidos estos terrenos, se incrementarán las zonas afectadas por los desplazamientos del suelo.

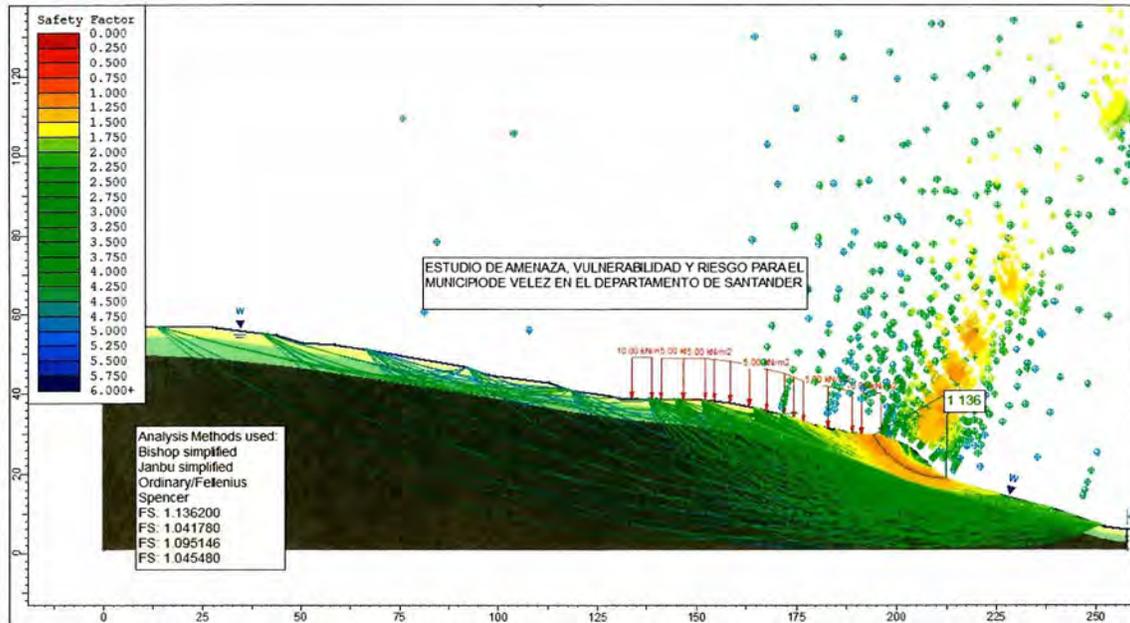
**Figura 62.** Vista general de sectores aledaños al Barrio San Luis.



Fuente: Elaboración Propia

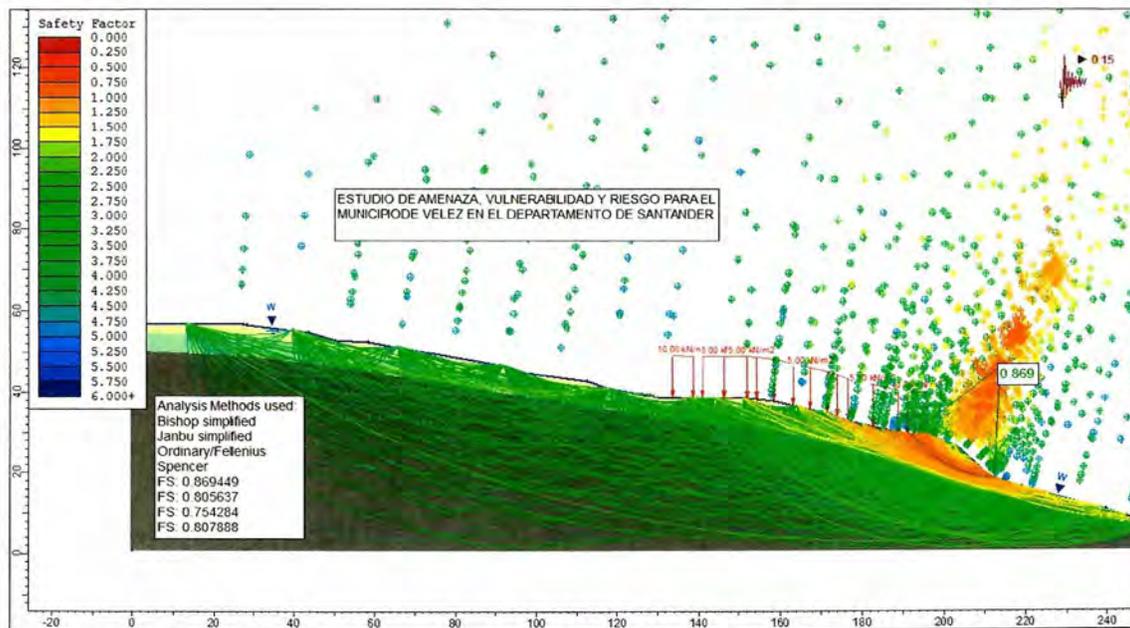
A continuación se presentan los resultados de los modelos geotécnicos.

**Figura 63.** Análisis estático falla circular, sector sur quebrada las Flores barrio San Luis.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 64.** Análisis dinámico falla circular, sector sur quebrada las Flores barrio San Luis. Aceración sísmica de 0.15g.

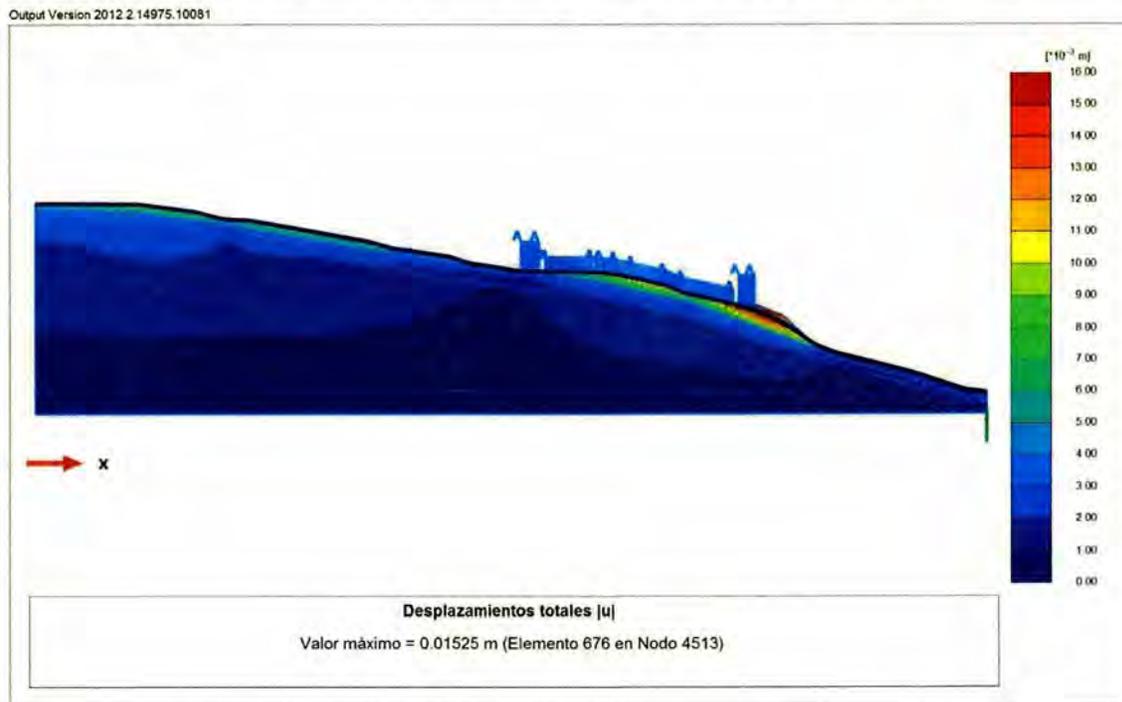


Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con los análisis de estabilidad realizados, se puede observar que el talud bajo condición de saturación y con sismo es susceptible a los movimientos en masa. Es importante destacar que el material involucrado y que genera la mayor parte de los problemas de inestabilidad en la zona, corresponde a rellenos antrópicos. Este material se caracteriza por presentar bajos parámetros de resistencia y en presencia de agua tiende a presentar deformaciones plásticas, tipo flujo.

A continuación en la figura 65 se presenta el análisis de esfuerzo deformación el cual nos permite ver las deformaciones probables que se pueden presentar en el sector sur de la quebrada las Flores en el barrio San Luis.

**Figura 65.** Análisis esfuerzo deformación, sector sur quebrada las Flores barrio San Luis.



Fuente: Elaboración Propia

El modelo muestra deformaciones entre 12 -15 milímetros (probabilidad cualitativa = 5), es Muy alto. A continuación en la tabla 36 se presenta el resumen de los factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa:

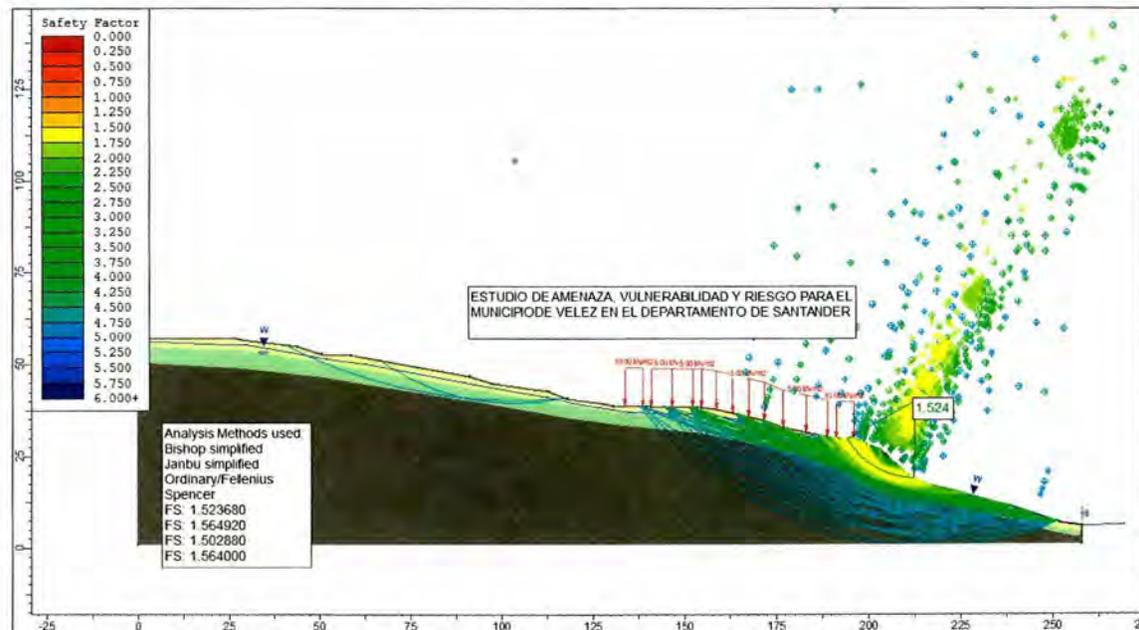
**Tabla 36.** Factores de seguridad y probabilidad cualitativa, costado sur de quebradas las Flores en el barrio San Luis.

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer	PROBABILIDAD CUALITATIVA
Análisis estático falla circular, sector sur quebrada las Flores en el barrio San Luis.	1.0951	1.1362	1.0417	1.0454	ALTO
Análisis dinámico falla circular, aceración sísmica de 0.15g, sector sur quebrada las Flores en el barrio San Luis.	0.7542	0.8695	0.8056	0.8078	MUY ALTO

Fuente: Elaboración Propia

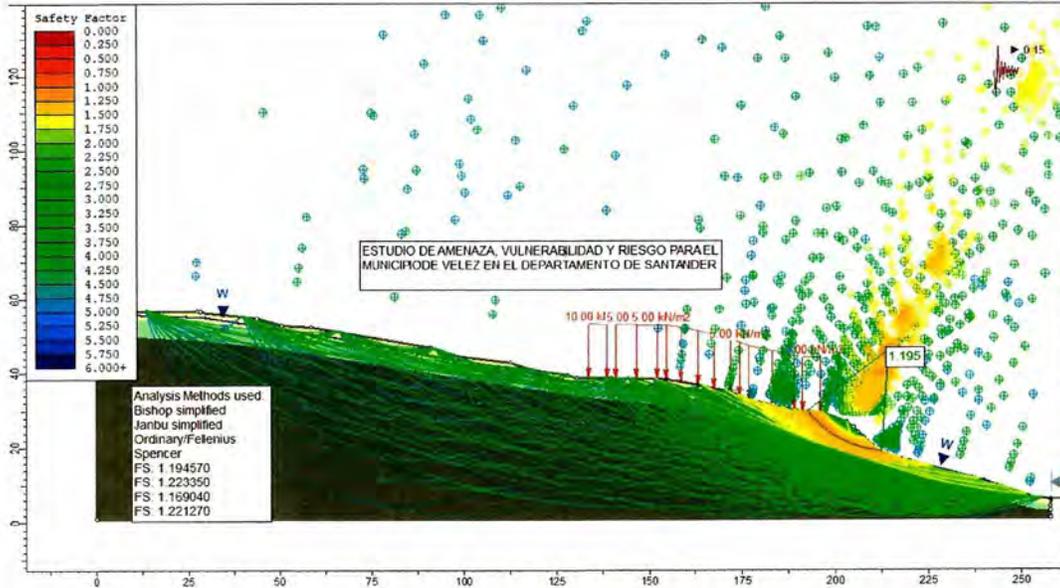
Los resultados para la condición sin obras muestran claramente que el terreno debe ser intervenido. Se procedió a realizar los respectivos análisis de estabilidad con obras de mitigación (figura 66 a 68); las obras propuestas consisten en la construcción de filtros longitudinales a lo largo de las carreras 2 y 3 con los cuales se busca abatir el nivel freático.

**Figura 66.** Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, costado sur junto a quebradas la Flores en el barrio de San Luis.



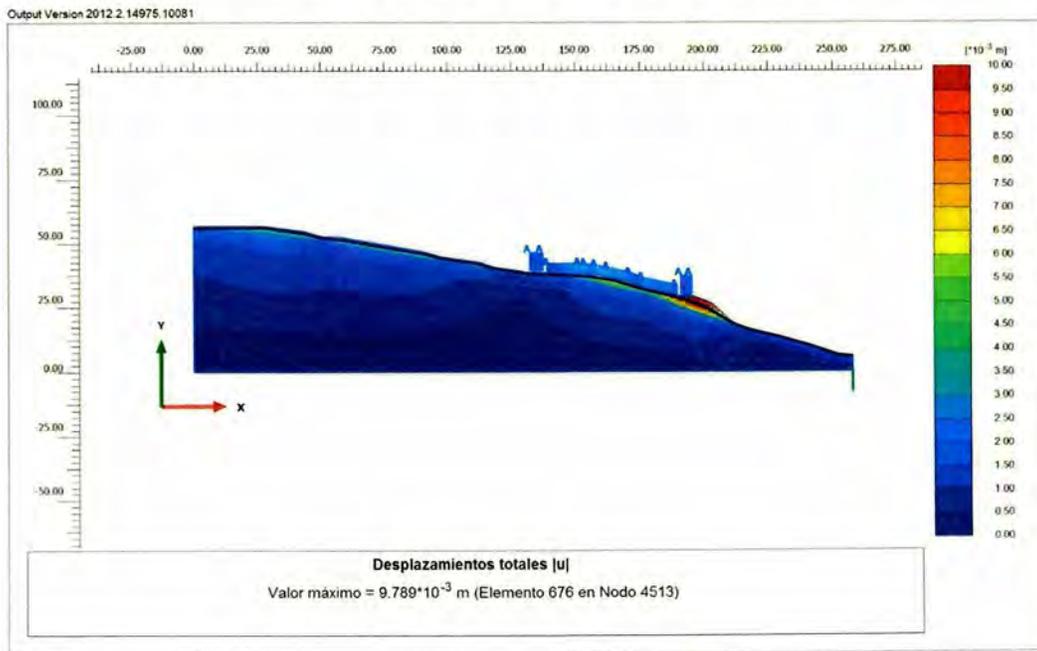
Fuente: Elaboración Propia

Figura 67. Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, acercación sísmica de 0.15g, costado sur junto a quebradas la Flores en el barrio de San Luis.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 68. Análisis esfuerzo deformación con obras de mitigación, costado sur junto a quebradas la Flores en el barrio de San Luis.



Fuente: Elaboración Propia

El modelo con obras de mitigación propuestas muestra una reducción en las deformaciones pasando de 15 a 9 milímetros (pasando de probabilidad cualitativa Muy Alto a Alta). A continuación en la tabla 37 se presenta el resumen de los factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa:

**Tabla 37.** Factores de seguridad y probabilidad cualitativa con obras de mitigación, costados sur junto a quebradas la Flores en el barrio de San Luis.

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer	Probabilidad cualitativa
Análisis estático falla circular, costado sur de quebrada las Flores en el barrio San Luis.	1.5236	1.5236	1.5649	1.564	BAJO
Análisis dinámico falla circular, aceleración sísmica de 0.15g, costado sur de quebrada las Flores en el barrio San Luis.	1.169	1.1946	1.2233	1.2212	MEDIO

Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.3 Sector barrio La Esperanza

Localizado en la parte alta y costado norte del municipio, entre la calle 12 al sur y el barrio Los Cerezos al norte y la carrera 5 hasta la parte alta del barrio. Sobre la calle 13A se presenta una hondonada delimitada a ambos costados por sobresalientes digitaciones inclinadas que emergen a ambos costados de esta empinada vía urbana, cuyos suelos fueron removidos para la construcción de viviendas urbanas de 2 y 3 pisos, al igual que el sistema de drenaje natural. Se encuentran pozos en algunas viviendas aledañas al sector.

**Figura 69.** Pozos existentes en el barrio Esperanza.



Fuente: Elaboración Propia

En la parte alta y costado sur del barrio se encuentra un lomo de cuerpo en roca, suelos residuales y horizontes orgánicos superficiales. Tiene edificaciones en la mayor parte de ellas, hacia el costado norte de su lomo, deficientemente cimentadas y evidencias de algunos sectores de derrubios antrópicos. En la parte baja del barrio La Esperanza se presentan viviendas afectadas por inundaciones y agrietamientos en pisos y paredes. En épocas de fuerte invierno reciben el agua de escorrentía proveniente de la parte alta de la ladera, se forman torrentes de agua que bajan directamente a la carrera 5, la cual también recoge las aguas de la calle 13, saturando los colectores, devolviendo el agua por las alcantarillas y sifones de las viviendas. Desde el punto de vista geotécnico en la zona afloran limos arcillosos y arcillas limosas plásticas de la formación Paja. En el mapa de unidades geotécnicas corresponden a suelos de baja consistencia con profundidad de suelo competente entre 2 y 5 metros. Teniendo presente lo anterior, se procedió a realizar los respectivos análisis de estabilidad para la condición precedente y para la condición actual con obras de mitigación. Los resultados para la condición sin obras muestran claramente la susceptibilidad a movimientos de los suelos superficiales.

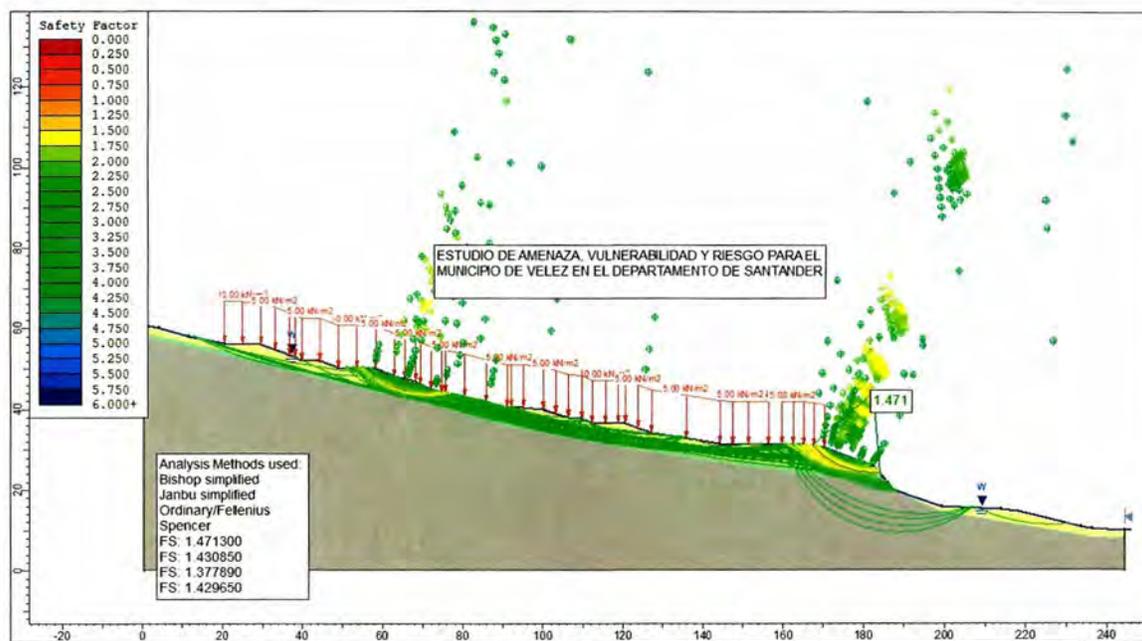
**Figura 70.** Vista general de problemas en el Barrio Esperanza.



Fuente: Elaboración Propia

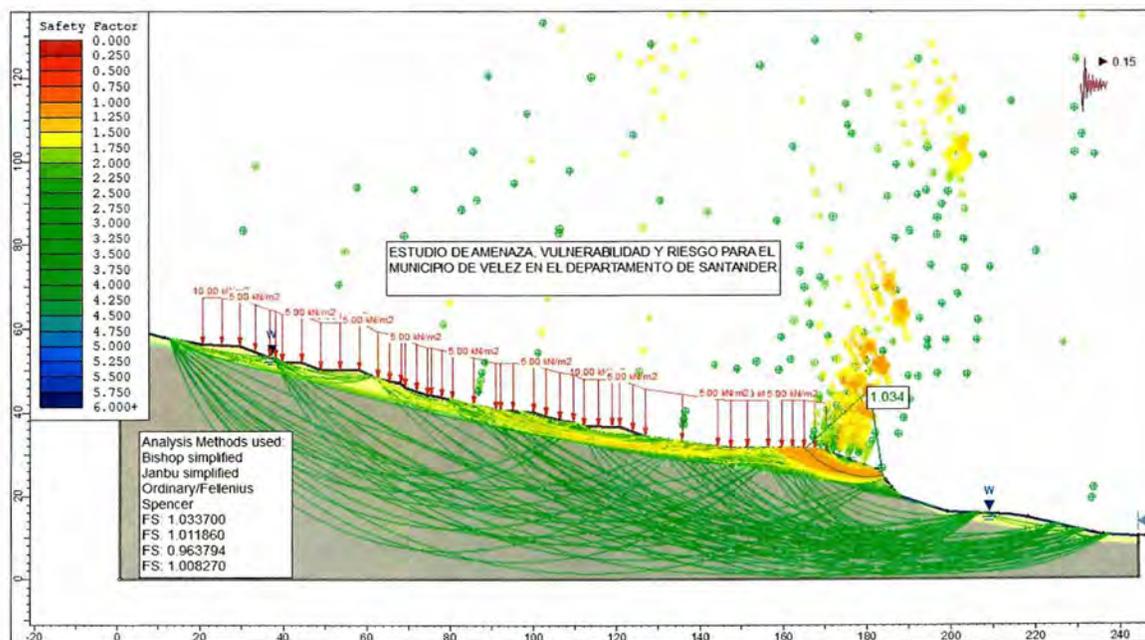
A continuación se presentan los resultados de los modelos geotécnicos.

Figura 71. Análisis estático falla circular, barrio la Esperanza.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 72. Análisis dinámico falla circular, barrio la Esperanza. Acercación sísmica de 0.15g.



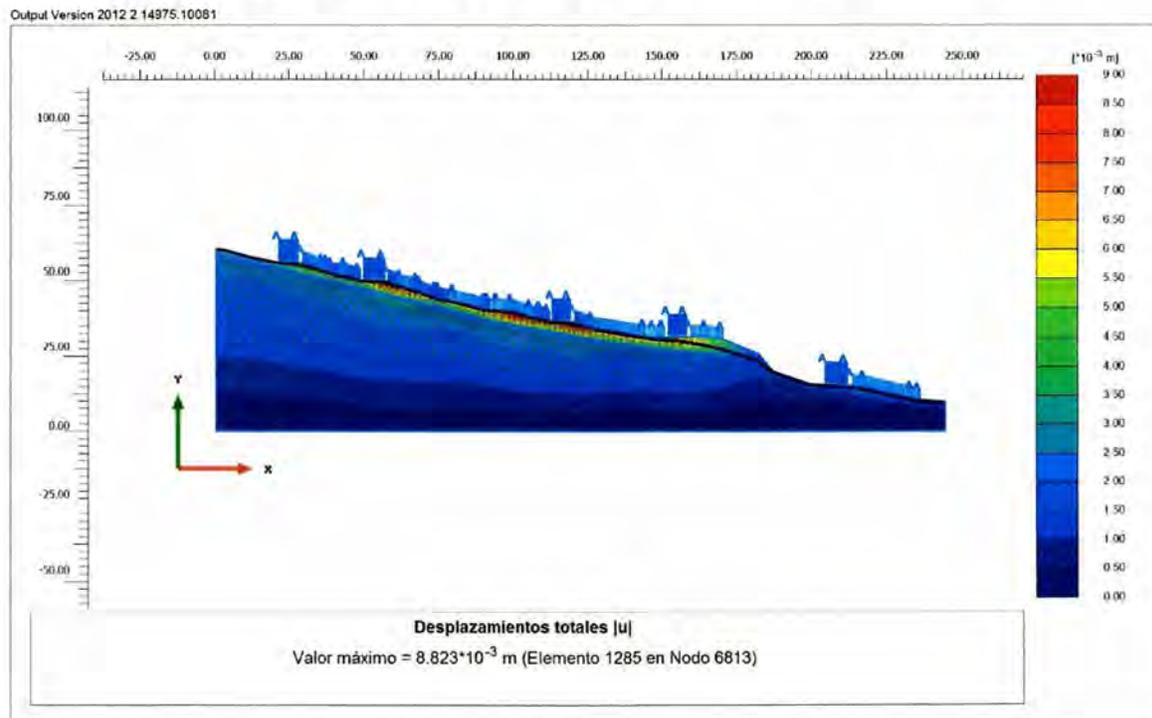
Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con los análisis de estabilidad realizados, se puede concluir que el talud saturado y con sismo es propenso a los movimientos en masa. Las pobres características geomecánicas superficiales y nivel freático característicos de la zona, influyen en el deterioro de las viviendas, por lo que es importante destacar que el material involucrado y que genera la mayor parte de los problemas de inestabilidad en la zona, corresponde a suelos superficiales sueltos. Este material se caracteriza por presentar bajos parámetros de resistencia y en presencia de agua tiende a comportarse como un fluido.

La existencia de una antigua cañada canalizada con sección hidráulica insuficiente, el flujo de agua subterránea, la inyección permanente de aguas negras y aguas del acueducto proveniente del rompimiento de las tuberías, conllevan a la realización de obras en este sector en particular, que estén enfocadas en abatir estos niveles.

A continuación en la figura 73 se presenta el análisis de esfuerzo deformación, el cual nos permite ver los asentamientos probables que se pueden presentar en el barrio la Esperanza.

**Figura 73.** Análisis esfuerzo deformación, Barrio la Esperanza.



Fuente: Elaboración Propia

El modelo muestra deformaciones entre 4 - 8 milímetros (probabilidad cualitativa = 3, Medio). A continuación en la tabla 38 se presenta el resumen de los factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa:

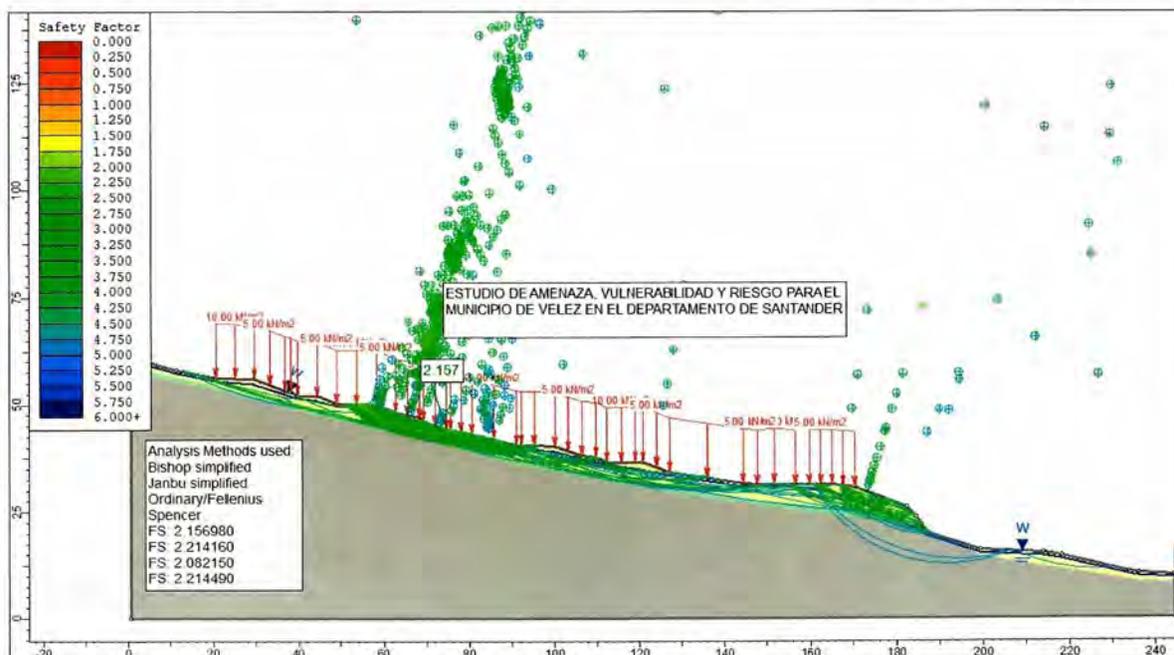
**Tabla 38.** Factores de seguridad y probabilidad cualitativa, barrió la Esperanza.

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer	PROBABILIDAD CUALITATIVA
Análisis estático falla circular, barrio la Esperanza.	1.3778	1.4713	1.3778	1.4296	MEDIO
Análisis dinámico falla circular, barrio la Esperanza. Aceración sísmica de 0.15g.	0.9637	1.0337	1.0118	1.008	ALTO

Fuente: Elaboración Propia

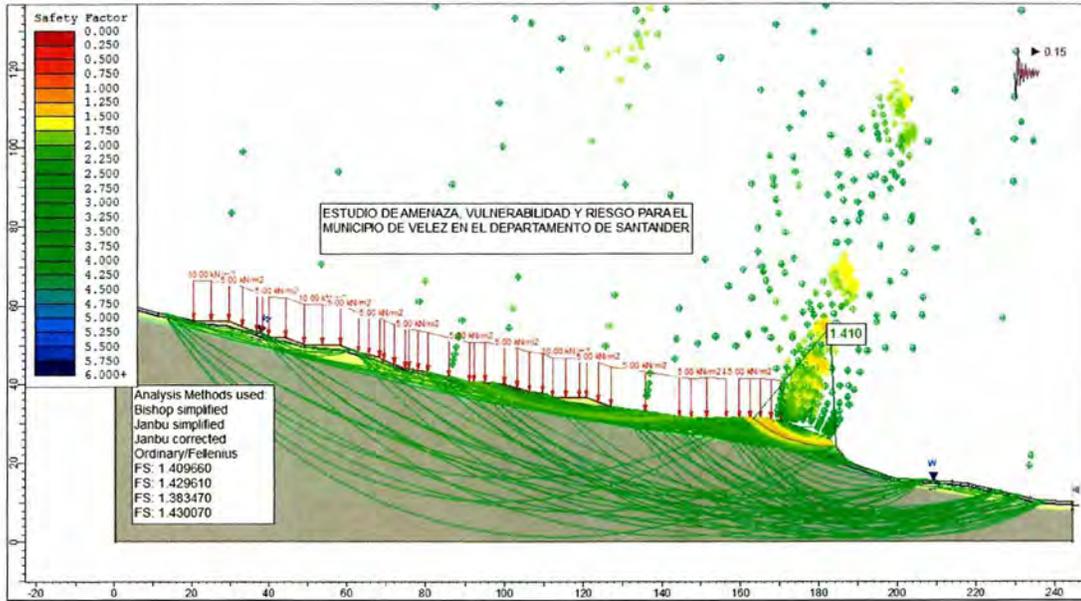
Teniendo presente lo anterior, se procedió a realizar los respectivos análisis de estabilidad con obras de mitigación (figuras 74 a 76). Los resultados para la condición sin obras muestran claramente que el terreno debe ser intervenido. Las obras propuestas consisten en la construcción de filtros longitudinales sobre las carreras, cuya finalidad es la de abatir el nivel freático.

**Figura 74.** Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, barrio Esperanza.



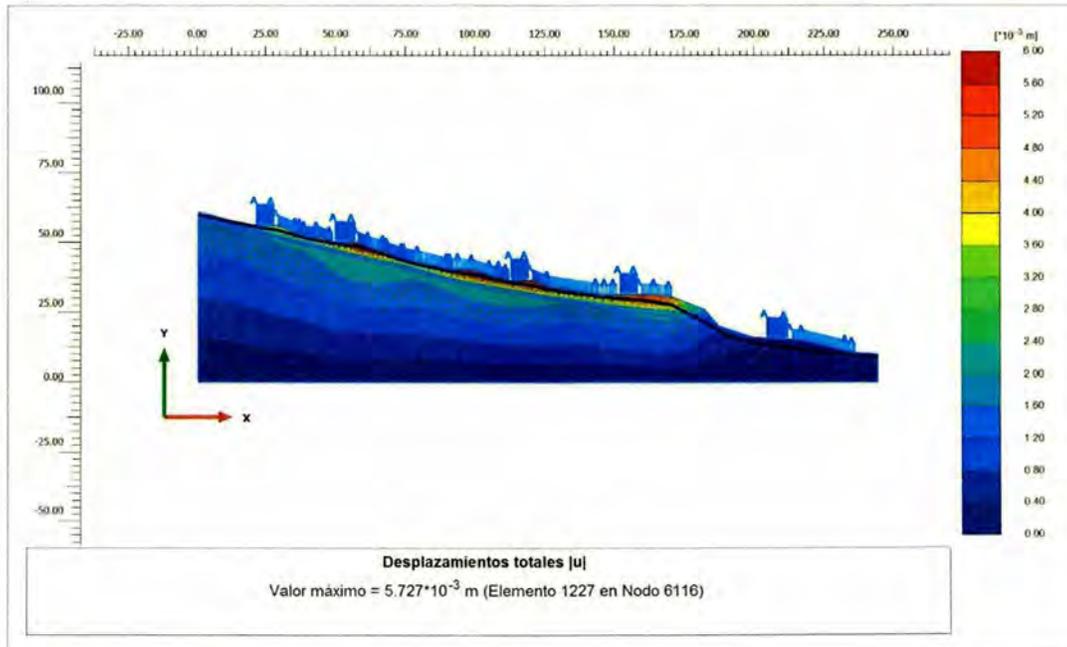
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 75.** Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, aceleración sísmica de 0.15g, barrio Esperanza.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 76.** Análisis esfuerzo deformación con obras de mitigación, barrio la Esperanza.



Fuente: Elaboración Propia



El modelo con obras de mitigación propuestas muestra una reducción en las deformaciones pasando de 8 a 5 milímetros (probabilidad cualitativa media). A continuación se presenta el resumen de los factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa:

**Tabla 39.** Factores de seguridad y probabilidad cualitativa con obras de mitigación, barrio La Esperanza.

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer	PROBABILIDAD CUALITATIVA
Análisis estático falla circular, barrio la Esperanza, con obras de mitigación..	2.082	2.157	2.214	2.214	BAJO
Análisis dinámico falla circular, barrio la Esperanza, con obras de mitigación. Aceración sísmica de 0.15g.	1.383	1.409	1.429	1.430	BAJO

Fuente: Elaboración Propia

#### 2.2.4 Sector barrio Kennedy

Localizado en la parte alta del área urbana, entre las calles 11y 11A y las carreras 6 a 8. En la parte alta se ubica el valle principal de la quebrada Las Flores. Las edificaciones existentes entre las calles 11 y 11A con carreras 7 y 8, están construidas sobre terrenos rocosos (limolitas) y suelo residual de esta formación. Se evidencian problemas en algunas viviendas las cuales fueron construidas sobre rocas blandas laminadas, donde hay concentración de humedad por aguas subterráneas, que han debilitado las rocas, haciendo que se presente un movimiento lento del terreno de tipo reptación, con los consecuentes hundimientos y agrietamientos en las viviendas.

**Figura 77. Problemas en el barrio Kennedy.**

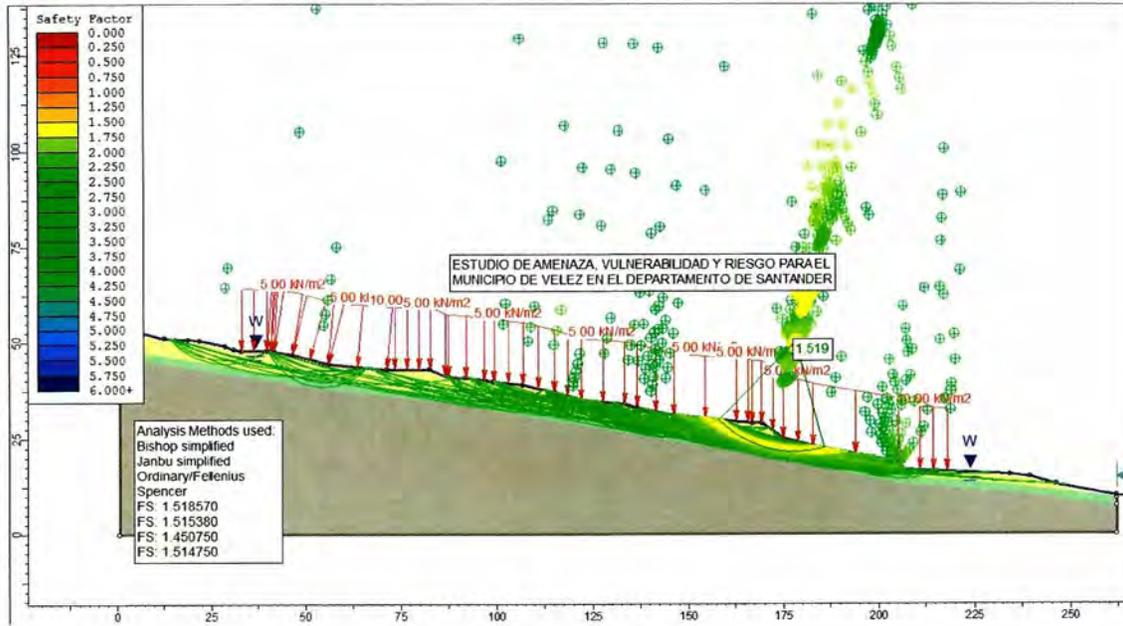


Fuente: Elaboración Propia

Desde el punto de vista geotécnico en la zona afloran limos arcillosos y arcillas limosas plásticas de la formación Paja. En el mapa de unidades geotécnica corresponden a suelos de baja consistencia con profundidad de suelo competente mayor de 3 metros. Teniendo presente lo anterior, se procedió a realizar los respectivos análisis de estabilidad para la condición precedente y para la condición actual con obras de mitigación. Los resultados para la condición sin obras muestran claramente la susceptibilidad de los suelos superficiales a movimientos.

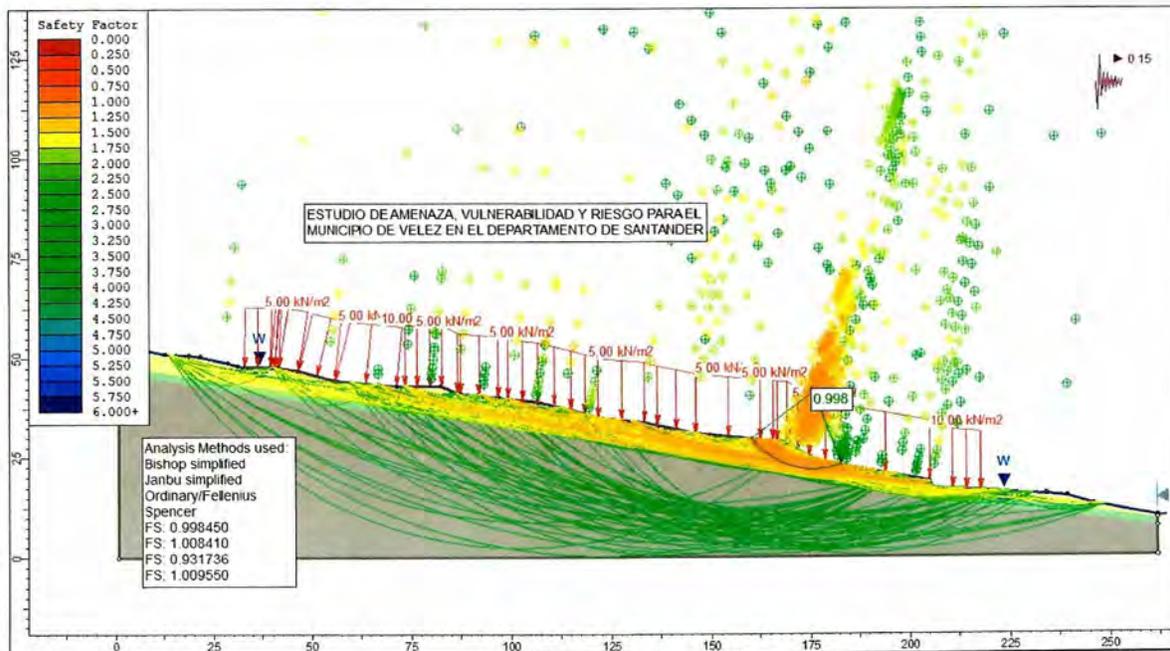
A continuación se presentan los resultados de los modelos geotécnicos.

**Figura 78.** Análisis estático falla circular, barrio la Kennedy.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 79.** Análisis dinámico falla circular, barrio la Kennedy. Aceración sísmica de 0.15g.

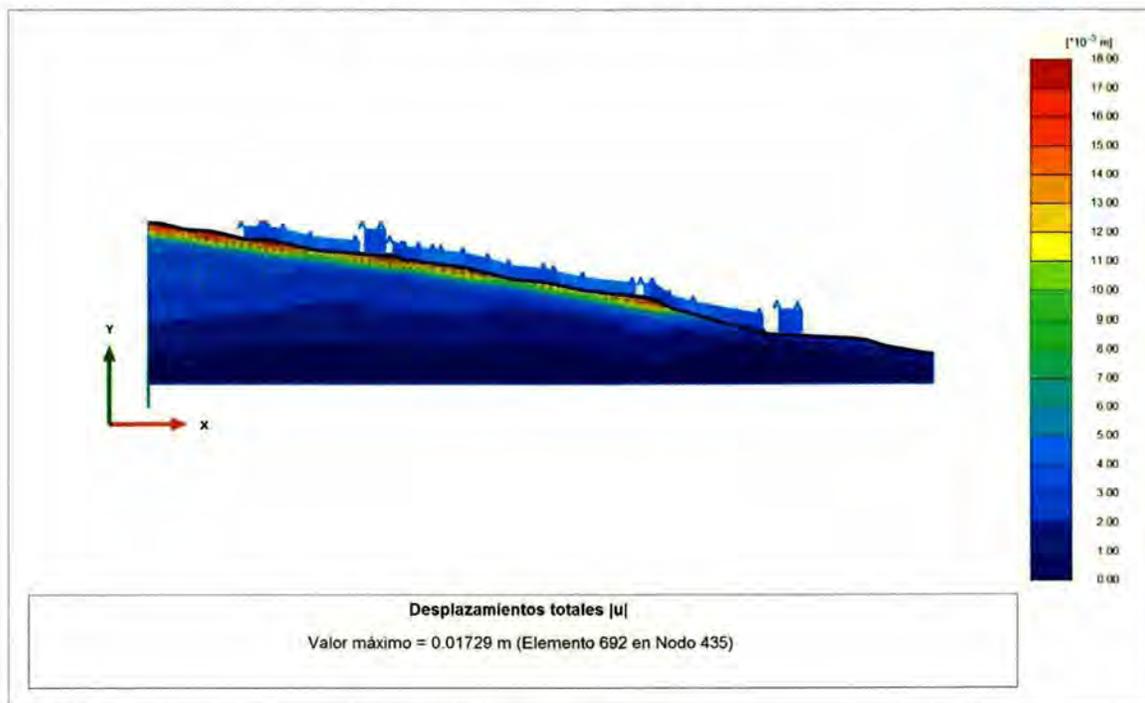


Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con los análisis de estabilidad realizados, se puede observar que el talud saturado y con sismo es propenso a los movimientos en masa. Las pobres características geomecánicas superficiales y nivel freático característico de la zona, influyen en el deterioro de las viviendas, por lo que es importante destacar que el material involucrado y que genera la mayor parte de los problemas de inestabilidad en la zona corresponde suelos superficiales de consistencia blanda. Este material se caracteriza por presentar bajos parámetros de resistencia y en presencia de agua tiende a comportarse como un fluido.

A continuación se presenta el análisis de esfuerzo deformación el cual permite ver los asentamientos probables que se pueden presentar en el sector barrio Kennedy.

**Figura 80.** Análisis esfuerzo deformación, barrio la Kennedy.



Fuente: Elaboración Propia

El modelo muestra deformaciones mayores de 12 milímetros (probabilidad cualitativa = 5, Muy alta). A continuación se presenta el resumen de los factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa.

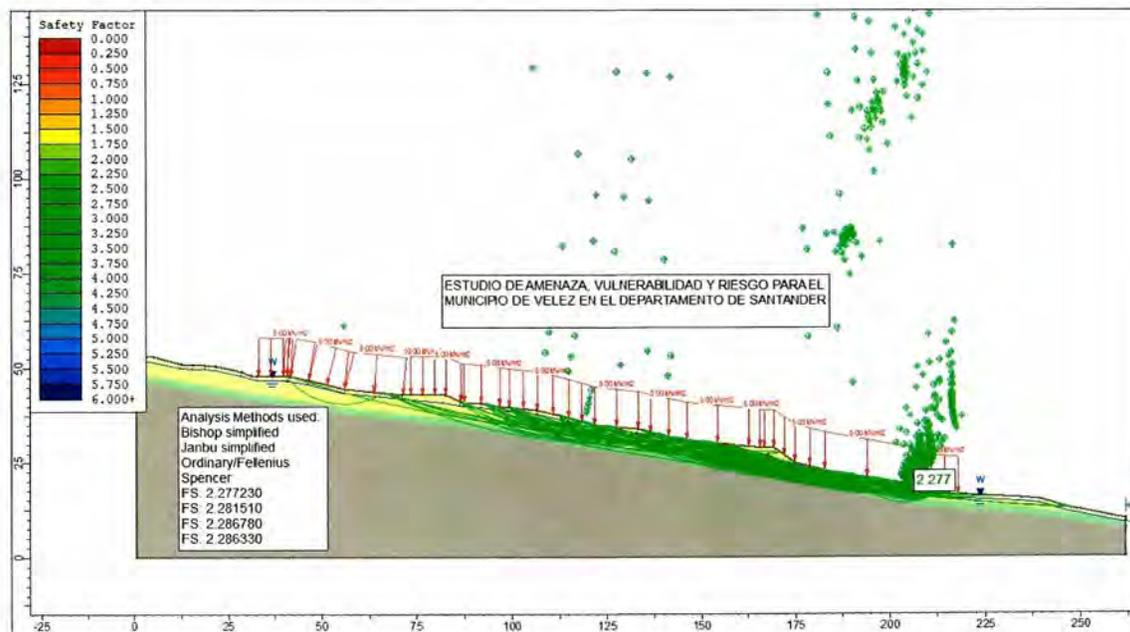
**Tabla 40.** Factores de seguridad y probabilidad cualitativa, barrio Kennedy.

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer	PROBABILIDAD CUALITATIVA
Análisis estático falla circular, barrio Kennedy.	1.4507	1.5185	1.5154	1.5147	MEDIO
Análisis dinámico falla circular, barrio Kennedy. Aceración sísmica de 0.15g.	0.9317	0.9984	1.0084	1.0095	ALTO

Fuente: Elaboración Propia

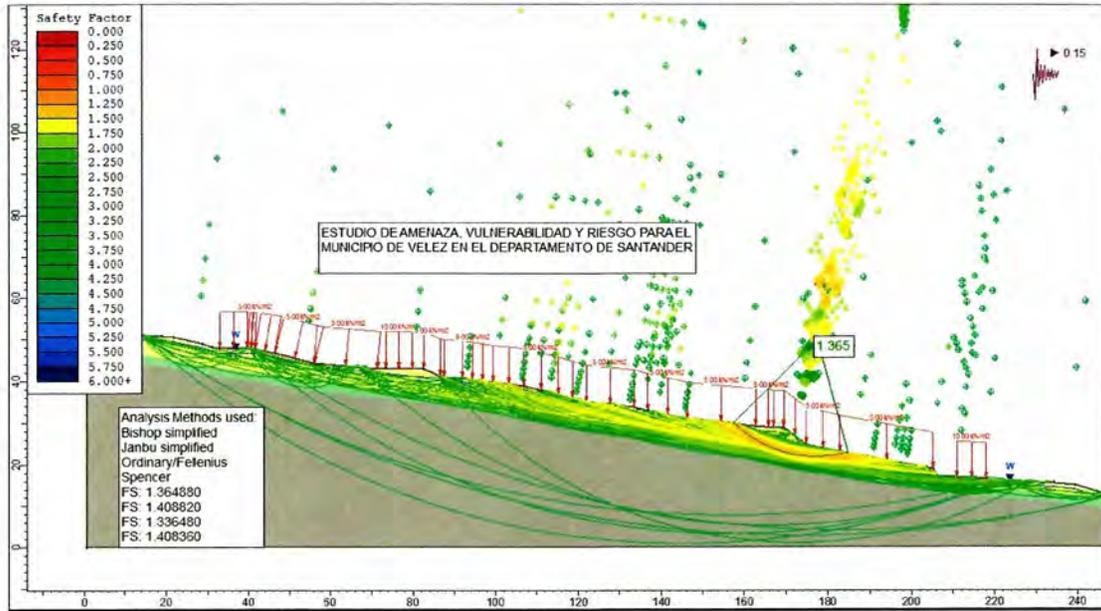
Teniendo presente lo anterior, se procedió a realizar los respectivos análisis de estabilidad con obras de mitigación. Los resultados para la condición sin obras muestran claramente que el terreno debe ser intervenido. Las obras propuestas consisten en la construcción de filtros longitudinales en las carreras 7 y 8, con los cuales buscan abatir el nivel freático.

**Figura 81.** Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, barrio Kennedy.



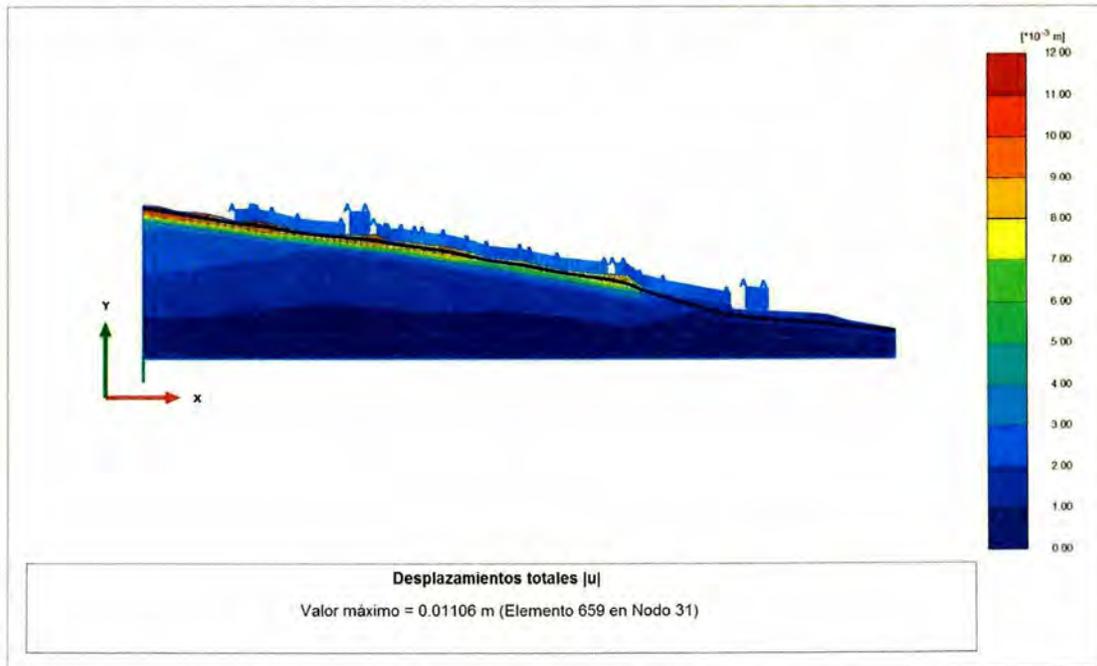
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 82.** Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, aceración sísmica de 0.15g, barrio Kennedy.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 83.** Análisis esfuerzo deformación con obras de mitigación, barrio Kennedy.



Fuente: Elaboración Propia

Los modelos con obras de mitigación (figuras 80 a 82) muestran una reducción de las deformaciones pasando de 17 a 11 milímetros (probabilidad cualitativa Muy Alta a Alta). A continuación en la tabla 41 se presenta el resumen de los factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa:

**Tabla 41.** Factores de seguridad y probabilidad cualitativa con obras de mitigación, barrio Kennedy.

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer	Probabilidad cualitativa
Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, barrio Kennedy.	2.2867	2.2772	2.2815	2.2863	MUY BAJO
Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, barrio Kennedy. Aceración sísmica de 0.15g.	1.3364	1.3648	1.4088	1.4083	BAJO

Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.5 Sector barrio La Feria

Comprende los sectores localizados entre la calle 11A y la cancha de fútbol denominada el Campín, entre las carreras 4 y 5. Se caracteriza por presentar niveles freáticos superficiales y en algunos casos niveles saltantes. En el sector, bordeando la carrera 5 con calle 13 se evidencian problemas de inestabilidad, los cuales han afectado la vía. En este sector se realizó la tomografía 21 (carrera 15) y al oriente, en la parte media de la ladera, la tomografía 7 (figura 83), evidenciando dos concentraciones de aguas en profundidad Según información de la comunidad estas concentraciones de aguas podrían tratarse de antiguas cañadas por donde bajaban aguas, las cuales fueron intervenidas sin ningún manejo.

**Figura 84.** Problemas en el barrio La Feria.

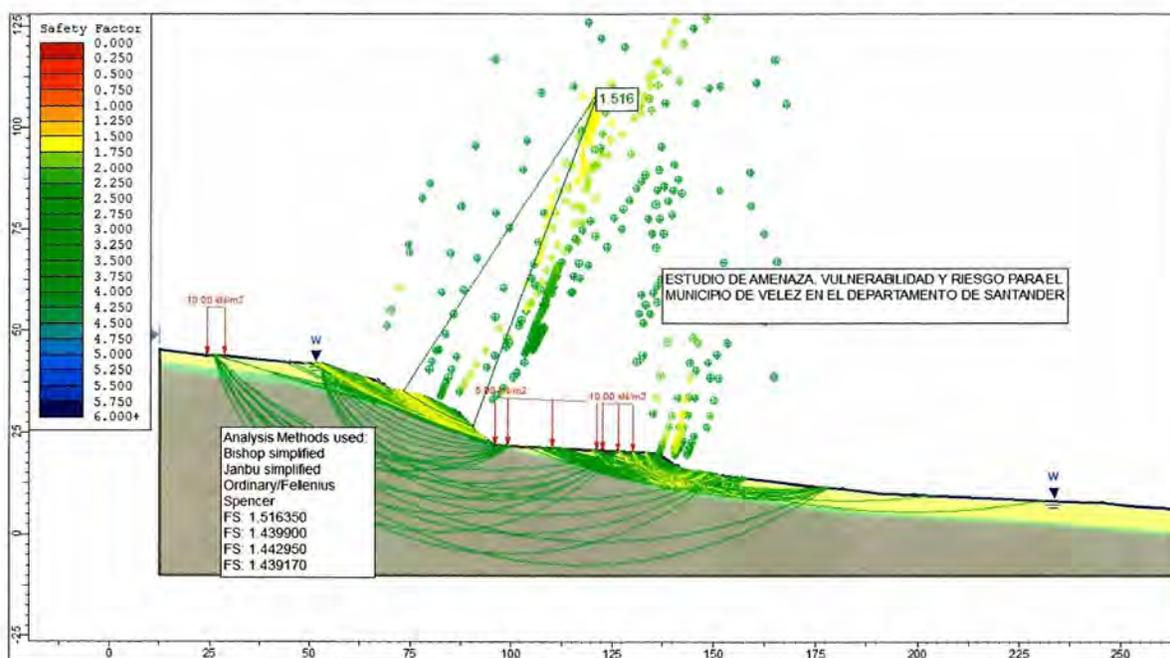


Fuente: Elaboración Propia

Desde el punto de vista geotécnico, en la zona afloran materiales sueltos limo arcillosos y arcillas limosas, saturados, plásticos de la formación Paja. En el mapa de unidades geotécnicas corresponden a suelos de baja consistencia con profundidad de suelo competente a profundidad mayor de 3 metros. Teniendo presente lo anterior, se procedió a realizar los respectivos análisis de estabilidad para la condición precedente y para la condición actual con obras de mitigación. Los resultados para la condición sin obras muestran claramente la susceptibilidad de los suelos superficiales a movimientos en masa.

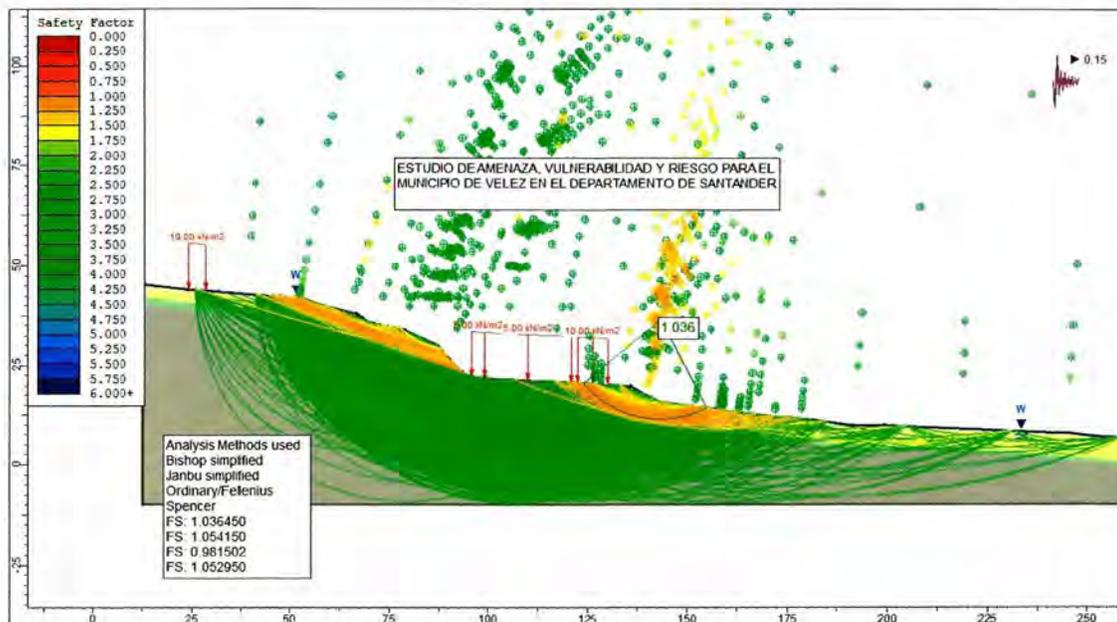
A continuación se presentan los resultados de los modelos geotécnicos.

**Figura 85. Análisis estático falla circular, barrio La Feria.**



Fuente: Elaboración Propia

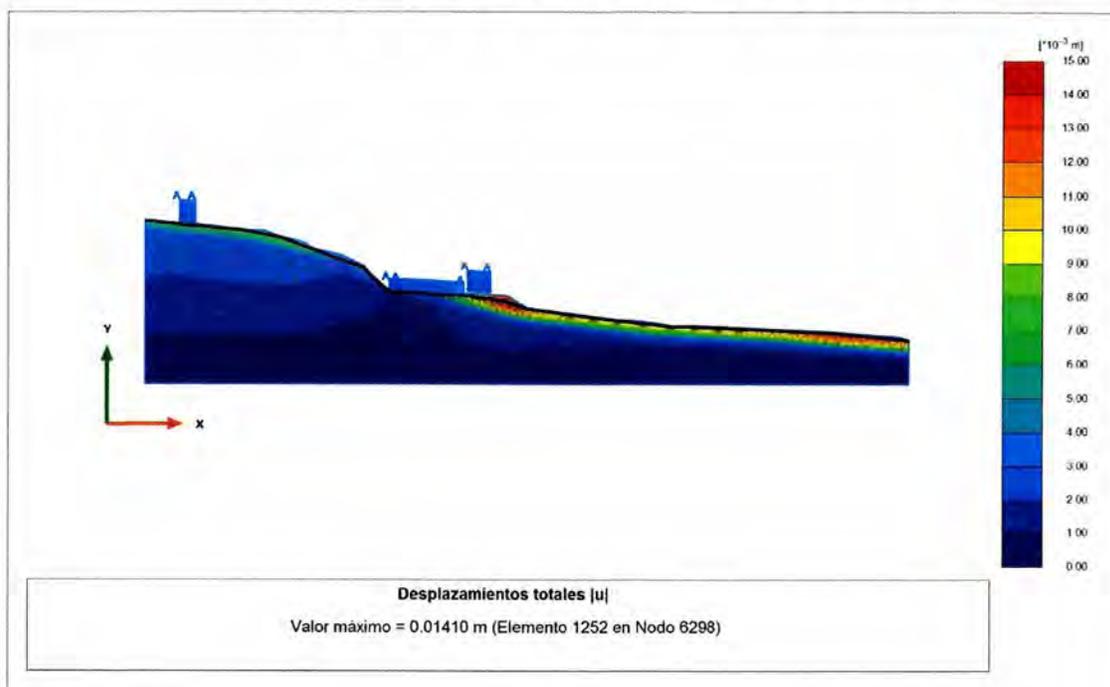
Figura 86. Análisis dinámico falla circular, barrio La Feria. Aceración sísmica de 0.15g.



Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con los análisis de estabilidad realizados, se puede establecer que el talud saturado y con sismo es propenso a los movimientos en masa. Las pobres características geomecánicas superficiales y los niveles freáticos altos de la zona, generan movimientos o deformaciones, por lo que es importante destacar que el material involucrado y que genera la mayor parte de los problemas de inestabilidad en la zona corresponde a suelos superficiales poco consistentes y saturados. Este material se caracteriza por presentar bajos parámetros de resistencia y en presencia de agua tiende a comportarse como un fluido.

A continuación se presenta el análisis de esfuerzo deformación el cual permite ver los asentamientos probables que se pueden presentar el sector barrio La Feria.

**Figura 87.** Análisis esfuerzo deformación, barrio La Feria.

Fuente: Elaboración Propia.

El modelo muestra deformaciones mayores de 12 milímetros (probabilidad cualitativa = 5, Muy alta) A continuación en la tabla 42 se presenta el resumen de los factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa.

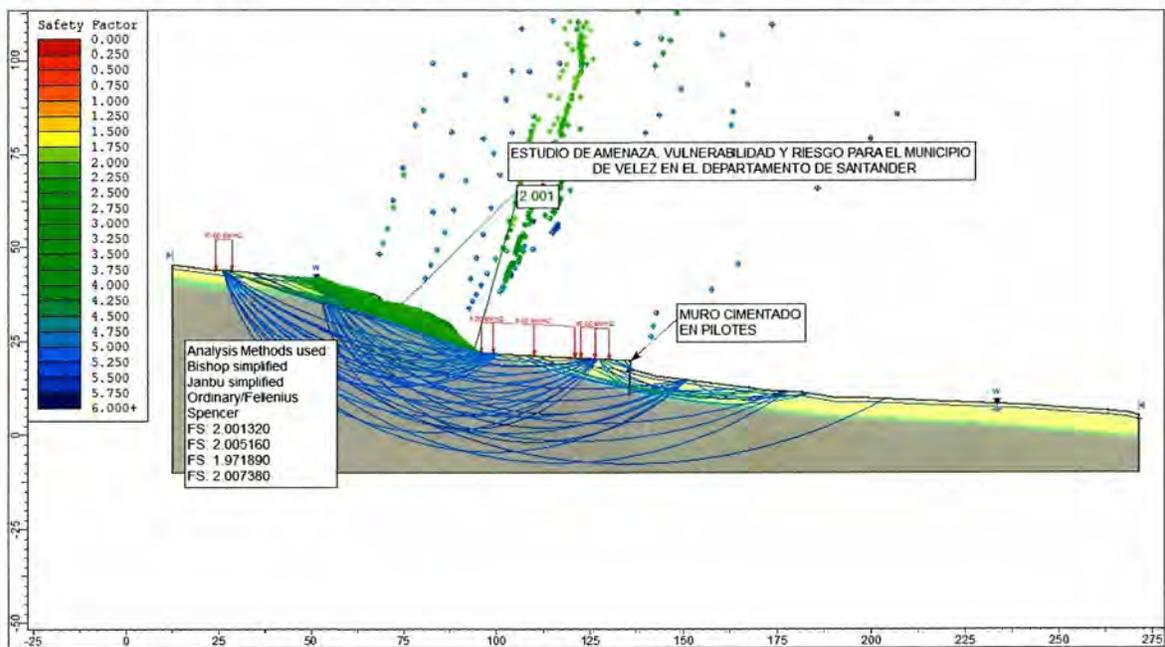
**Tabla 42.** Factores de seguridad y probabilidad cualitativa, barrió La Feria

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer	PROBABILIDAD CUALITATIVA
Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, barrio La Feria.	1.4429	1.5163	1.4399	1.4392	MEDIO
Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, barrio La Feria. Aceración sísmica de 0.15g.	0.9815	1.03645	1.0541	1.0529	ALTO

Fuente: Elaboración Propia

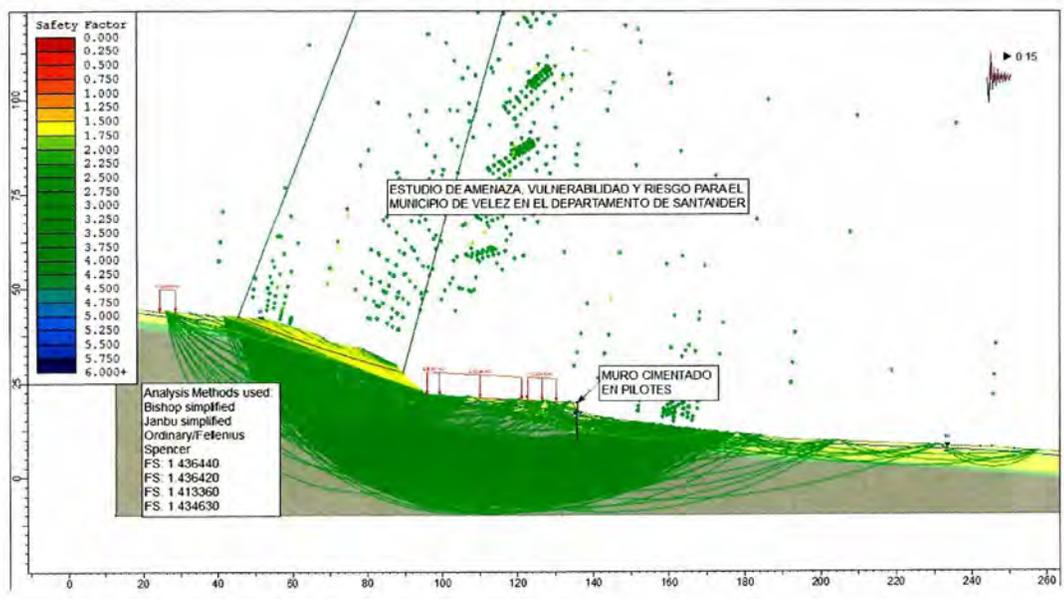
Teniendo presente lo anterior, se procedió a realizar los respectivos análisis de estabilidad con obras de mitigación. Los resultados para la condición sin obras muestran claramente que el terreno debe ser intervenido. Las obras propuestas consisten en la construcción de filtros longitudinales utilizando el alineamiento del sistema de recolección de aguas lluvias próximas a construirse los cuales buscan abatir el nivel freático. Adicionalmente se requiere un muro en concreto cimentado sobre pilotes los cuales deben apoyarse como mínimo 4.0 metros dentro de la roca.

**Figura 88.** Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, barrio La Feria.



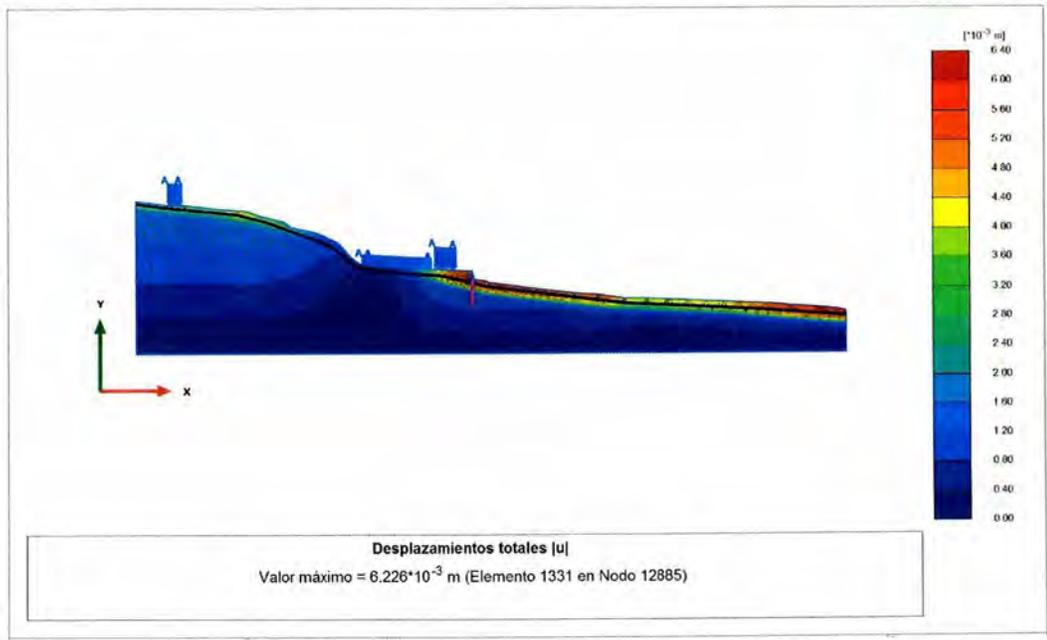
Fuente: Elaboración Propia

Figura 89. Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, aceración sísmica de 0.15g, barrio La Feria.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 90. Análisis esfuerzo deformación con obras de mitigación, barrio La Feria.



Fuente: Elaboración Propia

Los modelos con obras de mitigación (figuras 88 a 89) muestran una reducción en las deformaciones pasando de 13 a 6 milímetros (probabilidad cualitativa Muy Alta a Media). A continuación en la tabla 43 se presenta el resumen de los factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa:

**Tabla 43.** Factores de seguridad y probabilidad cualitativa con obras de mitigación, barrio La Feria

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer	PROBABILIDAD CUALITATIVA
Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, barrio La Feria.	1.9718	2.0013	2.0051	2.0073	MUY ALTA
Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, barrio La Feria.. Aceración sísmica de 0.15g.	1.4133	1.4364	1.4364	1.4346	MUY ALTA

Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.6 Sector barrio Santa Teresita

El barrio Santa Teresita se ubica sobre un ancho escalón inclinado hacia el sur, con suelos de origen residual, retazo sur del macroescalón de Vélez, de origen estructural, conteniendo suelos residuales e incluso delgados y superficiales estratos de derrubios gravitacionales, con formación de suelos residuales y horizontes orgánicos superficiales. En la parte baja del costado oriental cruza la vía que comunica a Vélez con el municipio de Barbosa donde se presentó un importante movimiento de remoción en masa (figura 90), afectando incluso algunas viviendas de la parte baja y dejando el potencial peligro a las de la parte alta del barrio, dado que la corona del deslizamiento coincide con la parte trasera de las viviendas. Por lo tanto se hace necesario intervenir el talud para protección tanto de las viviendas de la parte alta, como las de la parte baja, incluida la vía que conduce a la ciudad de Barbosa.

Figura 91. Problemas en el barrio Santa Teresita.

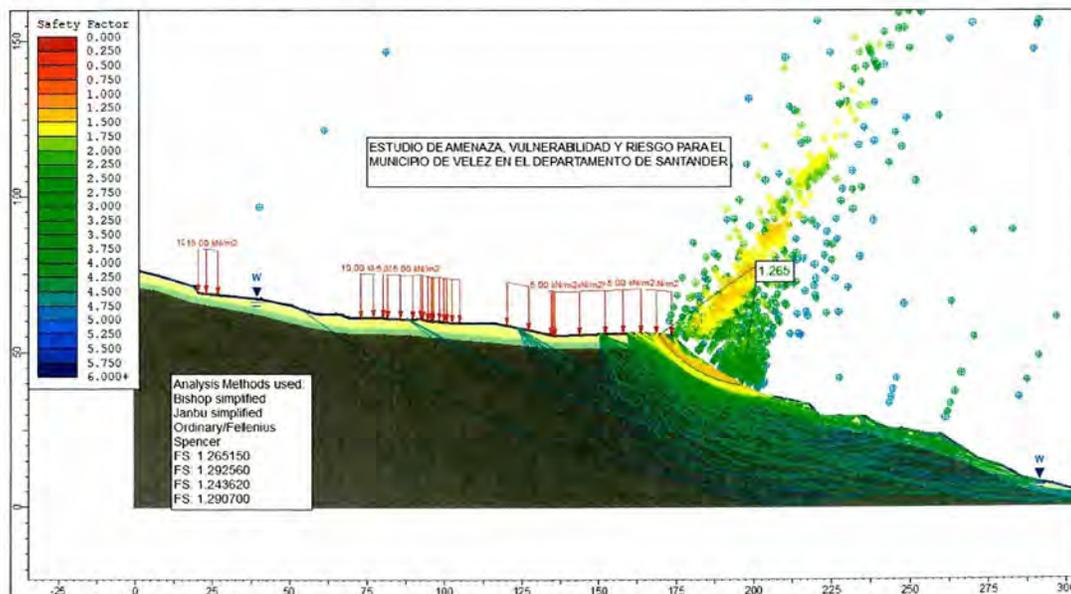


Fuente: Elaboración Propia

Desde el punto de vista geotécnico, en la zona afloran materiales limo arcillosos y arcillas limosas, saturados, plásticos de la formación Paja. En el mapa de unidades geotécnicas corresponden a suelos de baja consistencia con profundidad de suelo competente mayor de 3 metros. Teniendo presente lo anterior, se procedió a realizar los respectivos análisis de estabilidad para la condición precedente y para la condición actual con obras de mitigación. Los resultados para la condición sin obras muestran claramente la susceptibilidad de los suelos superficiales a movimientos.

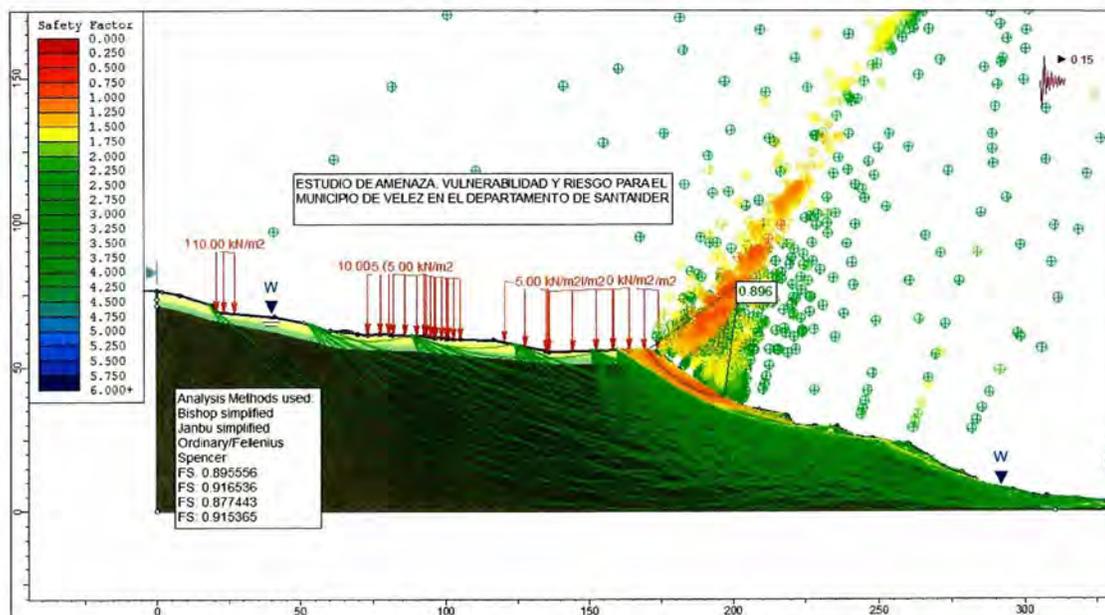
A continuación se presentan los resultados de los modelos geotécnicos.

Figura 92. Análisis estático falla circular, Santa Teresita.



Fuente: Elaboración Propia

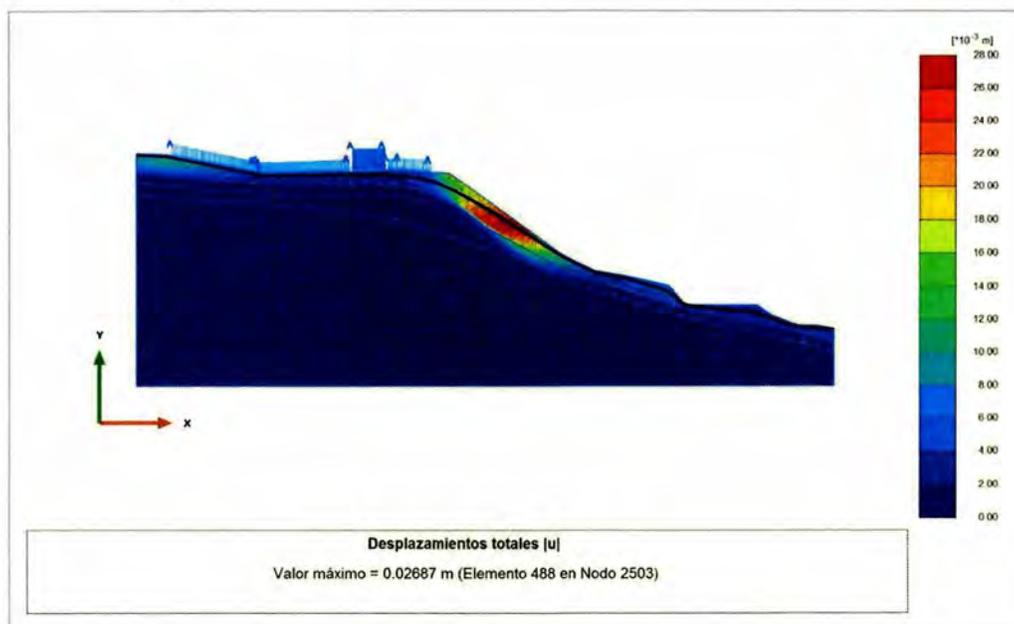
**Figura 93. Análisis dinámico falla circular, Santa Teresita. Aceración sísmica de 0.15g.**



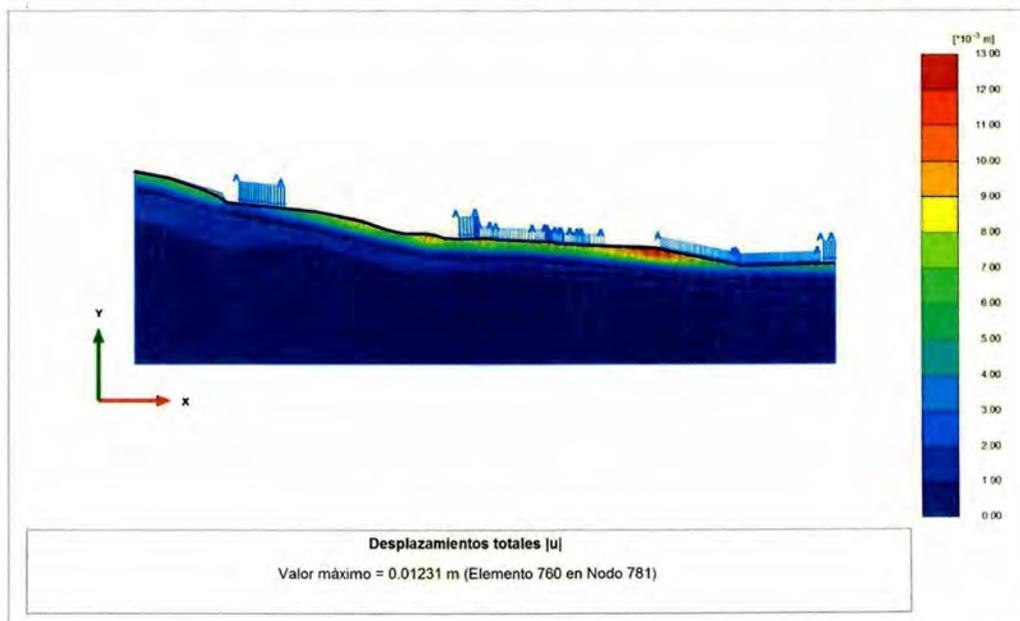
Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los análisis de estabilidad realizados, se puede establecer que el talud saturado y con sismo es propenso a los movimientos en masa. Las pobres características geomecánicas superficiales, pendiente alta, flujos sub-superficiales y escorrentía superficial por lluvias y aguas servidas, generan movimientos y deformaciones y son la posible causa del deslizamiento presente en el sitio.

A continuación se presenta el análisis nos permite ver las deformaciones probables que se pueden presentar el sector Santa Teresita.

**Figura 94.** Análisis esfuerzo deformación, Santa Teresita parte baja.

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 95.** Análisis esfuerzo deformación, Santa Teresita parte alta.

Fuente: Elaboración Propia

Los modelos muestran deformaciones mayores de 12 milímetros (probabilidad cualitativa = 5, Muy alta) A continuación en la tabla 44 se presenta el resumen de los factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa:

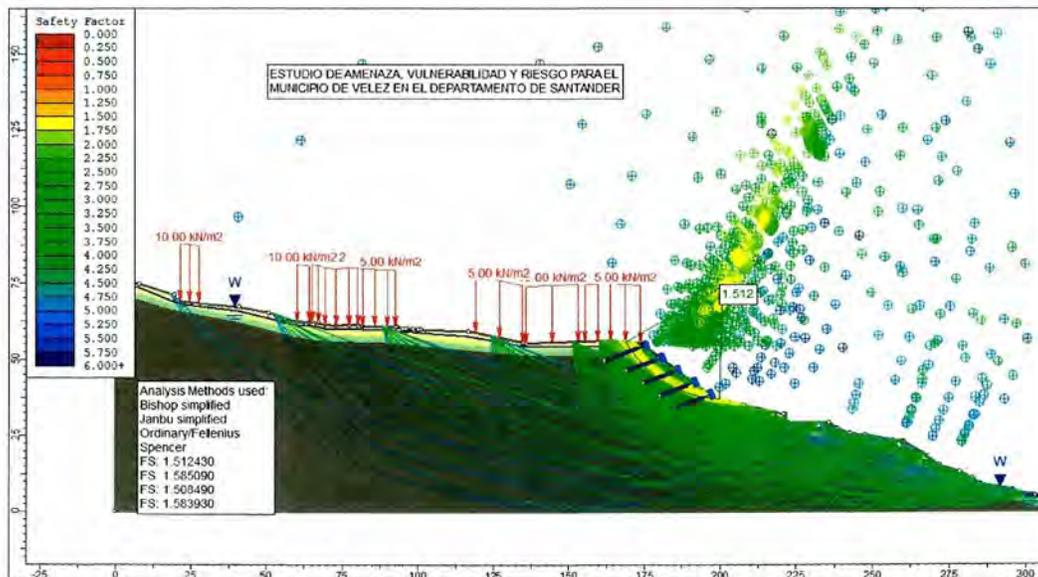
**Tabla 44.** Factores de seguridad y probabilidad cualitativa, Santa Teresita.

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer	Probabilidad cualitativa
Análisis estático falla circular, barrio Santa Teresita	1.2436	1.2651	1.2956	1.2907	MEDIO
Análisis dinámico falla circular, barrio Santa Teresita. Aceración sísmica de 0.15g.	0.8774	0.8955	0.9163	0.9153	ALTO

Fuente: Elaboración Propia

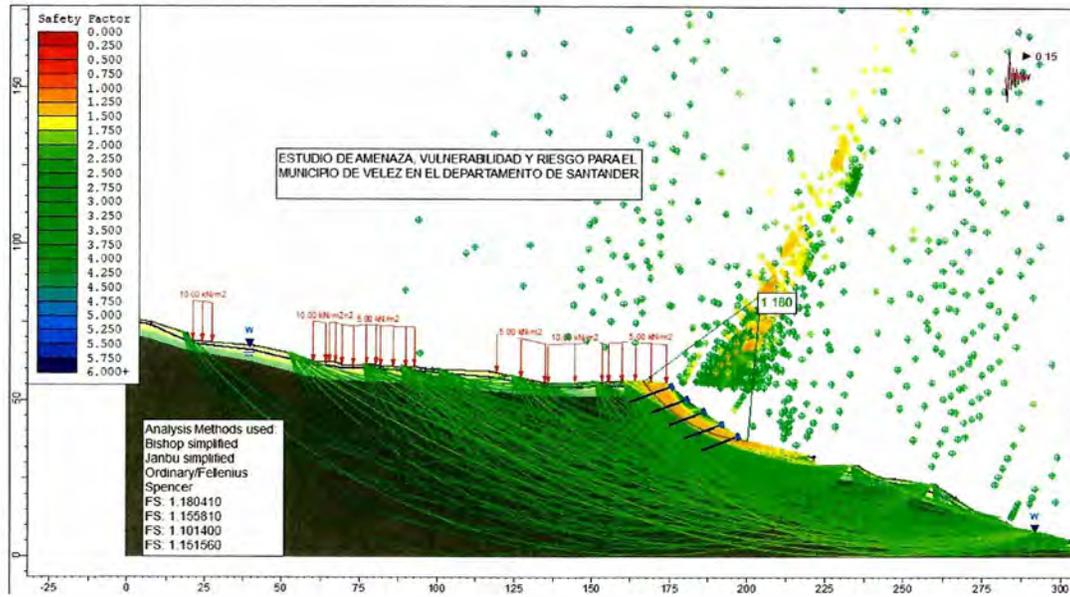
Teniendo presente lo anterior, se procedió a realizar los respectivos análisis de estabilidad con obras de mitigación. Las obras propuestas consisten en la construcción de una pantalla anclada para sustento de la corona del talud y protección de la viviendas de la parte alta (construidas sobre la plataforma del escalón) y continuación del muro de contención que actualmente se construye en el talud vial para protección de la vía y colocación de filtros de penetración transversal para estabilización del material deslizado y protección de las viviendas de la parte baja incluida la vía de acceso a la ciudad.

**Figura 96.** Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, barrio Santa Teresita



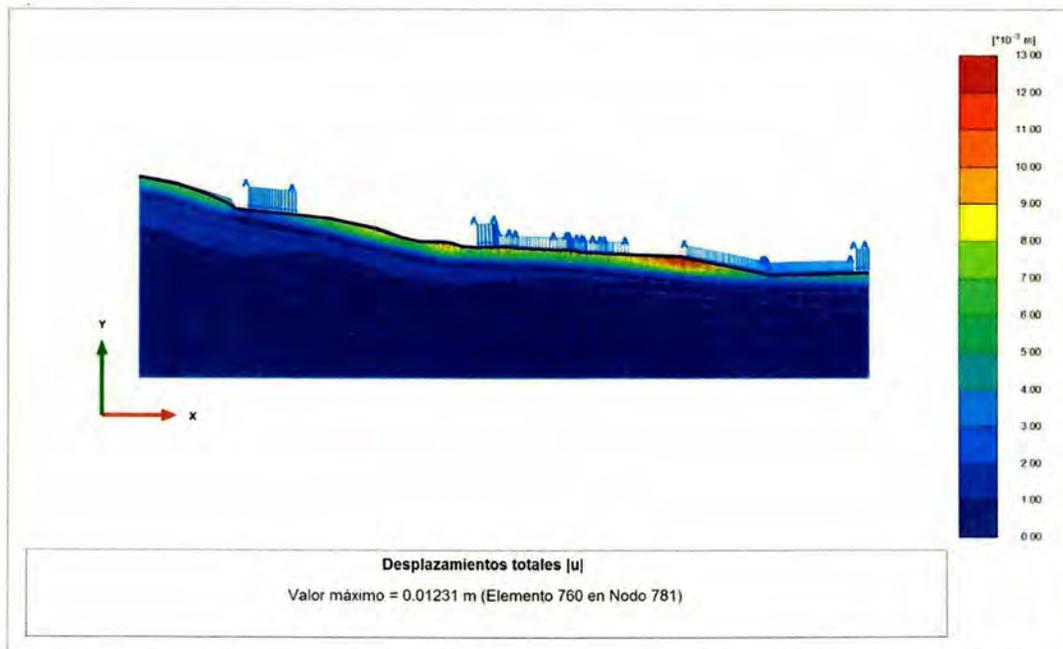
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 97.** Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, aceración sísmica de 0.15g, barrio Santa Teresita.



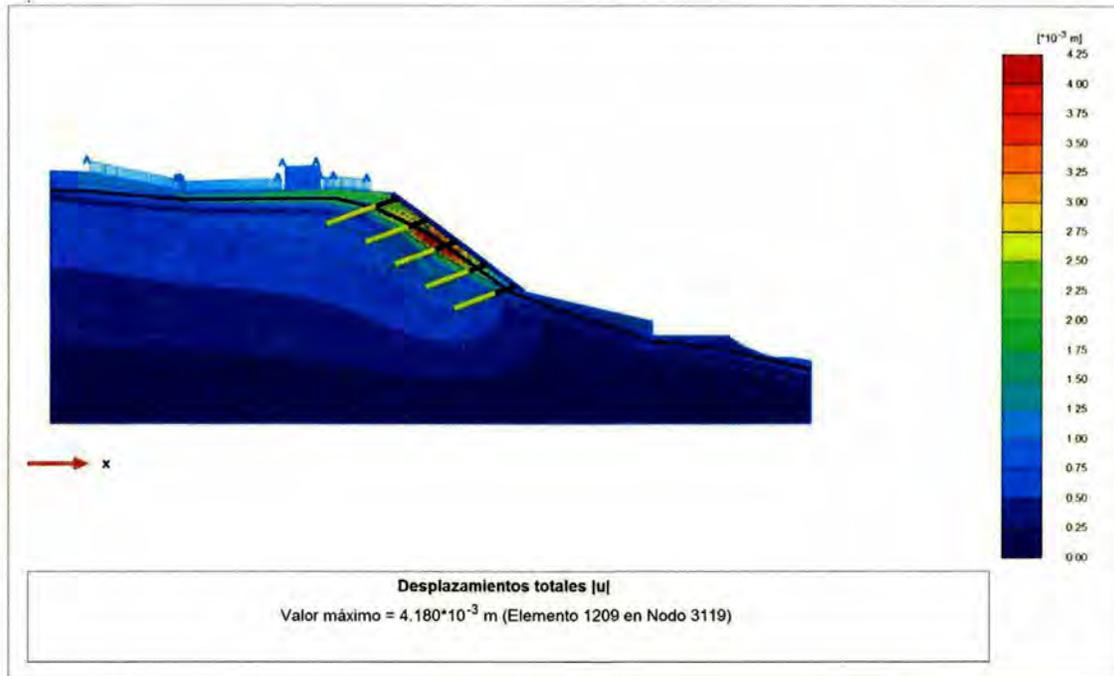
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 98.** Análisis esfuerzo deformación con obras de mitigación, barrio Santa Teresita parte alta.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 99.** Análisis esfuerzo deformación con obras de mitigación, barrio Santa Teresita parte baja.



Fuente: Elaboración Propia

Los modelos esfuerzo deformación con obras de mitigación propuestas (95 a 98) muestran una reducción en las deformaciones pasando de 26 a 5 milímetros (probabilidad cualitativa Muy Alta a Media). A continuación en la tabla 45 se presenta el resumen de los factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa:

**Tabla 45.** Factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa.

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer	PROBABILIDAD CUALITATIVA
Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, barrio Santa Teresa.	1.5084	1.5243	1.5851	1.583	BAJO
Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, Santa Teresa.. Aceración sísmica de 0.15g.	1.1014	1.1804	1.1558	1.1516	MEDIO

Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.7 Sector barrios Ricaurte y San Andresito

Localizado en el sector comprendido entre la vía Vélez - Barbosa y las carreras 2 y 3 entre calles 3 a 6. Se localizan varias viviendas que presentan grietas abiertas en pisos y paredes, así como despegues entre casas contiguas debido a la existencia de suelos sueltos y residuales los cuales se saturan y se deslizan sobre la superficie de rocas lodosas en profundidad. La presencia de aljibes, el mal manejo de aguas lluvias y la no continuidad de estructuras hidráulicas aumenta el potencial de deslizamiento de los suelos.

En el sector comprendido entre la quebrada Palenque y las Lajitas se encuentra un ancho corredor de terrenos que se han erosionado laminarmente ante el poder destructivo de ambas quebradas, habiéndose erosionado el interfluvio entre ambas corrientes planarmente en forma de banco rocoso de pocos metros de espesor con respecto a la continuidad estratigráfica de aguas arriba. Su origen es estructural de modelado fluvio torrencial.

**Figura 100.** Problemas en el barrio Ricaurte y San Andresito.

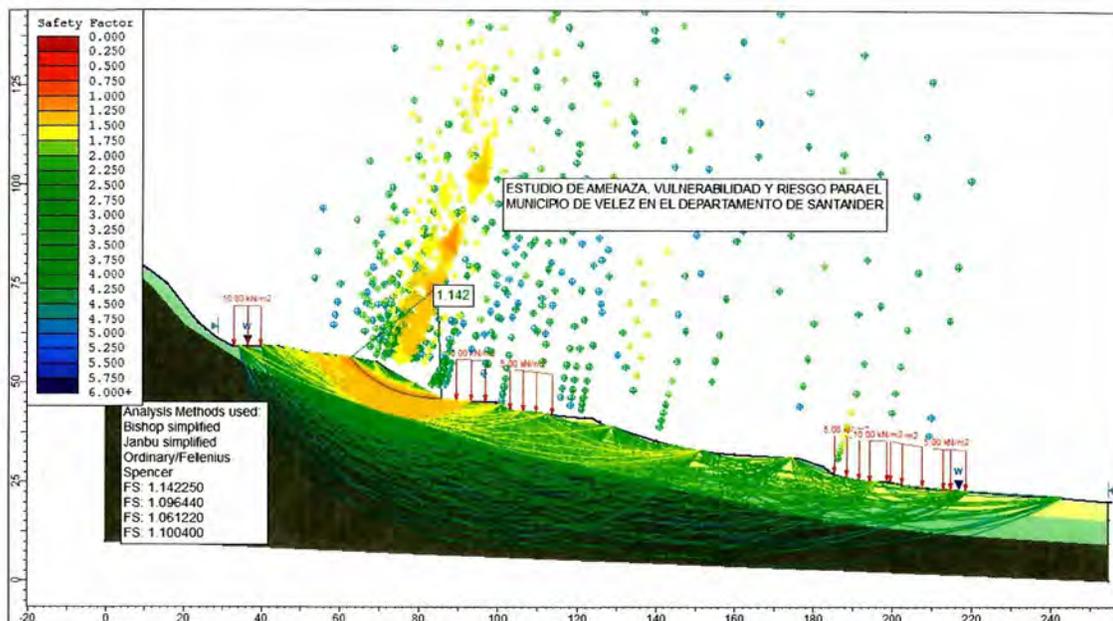


Fuente: Elaboración Propia

Desde el punto de vista geotécnico, en la zona afloran limos arcillosos y arcillas limosas, saturados, plásticos de la formación Paja. En el mapa de unidades geotécnica corresponden a suelos de baja consistencia con profundidad de suelo competente a más de 3 metros de profundidad. Teniendo presente lo anterior, se procedió a realizar los respectivos análisis de estabilidad para la condición precedente y para la condición actual con obras de mitigación. Los resultados para la condición sin obras muestran claramente la susceptibilidad de los suelos superficiales a movimientos.

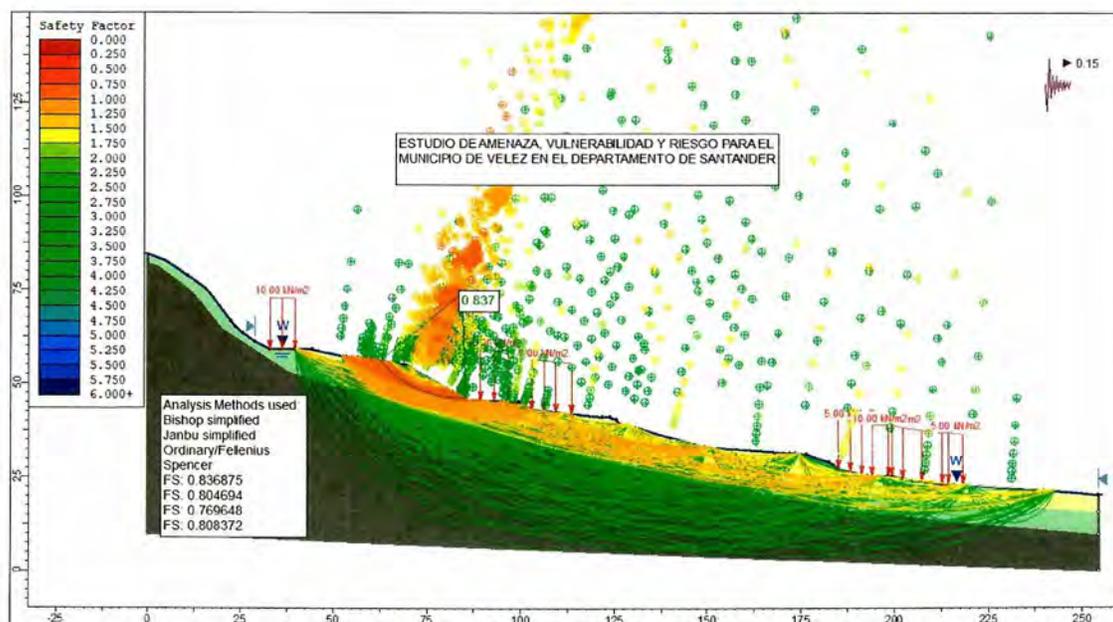
A continuación se presentan los resultados de los modelos geotécnicos.

**Figura 101.** Análisis estático falla circular, barrios Ricaurte y San Andresito.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 102.** Análisis dinámico falla circular, barrios Ricaurte y San Andresito. Aceración sísmica de 0.15g.

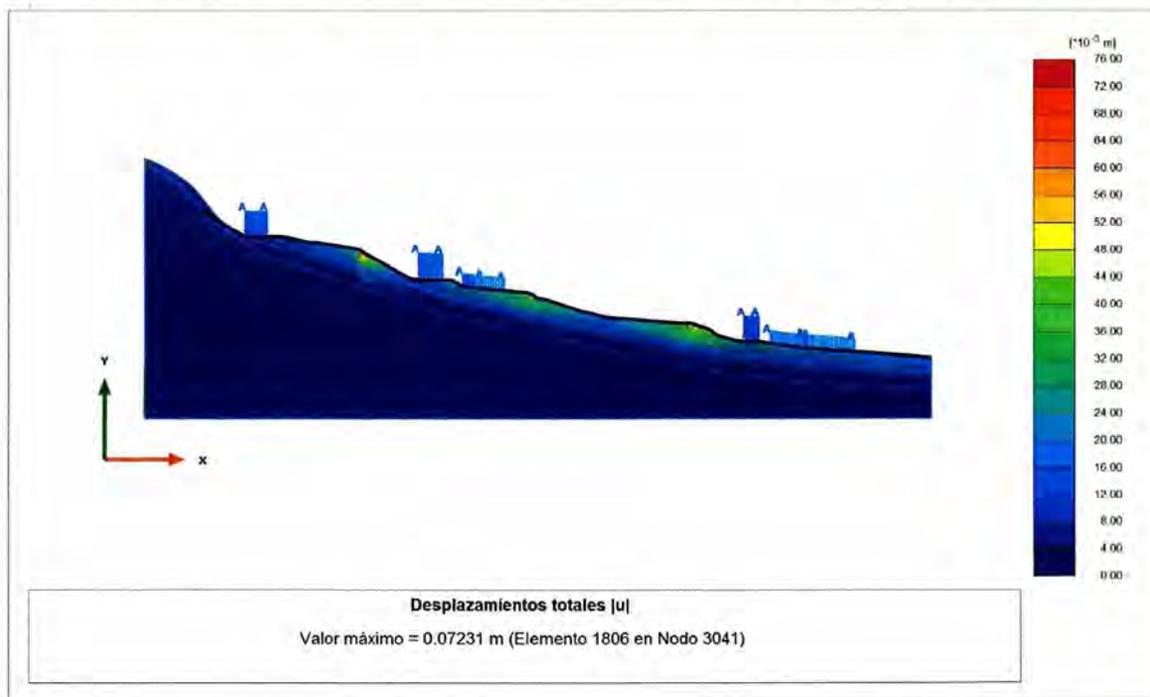


Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los análisis de estabilidad realizados, se puede observar que el talud saturado y con sismo es propenso a los movimientos en masa. Las pobres características geomecánicas superficiales y nivel freático característicos de la zona, generando movimientos, por lo que es importante destacar que el material involucrado y que genera la mayor parte de los problemas de inestabilidad en la zona corresponde suelos superficiales sueltos saturados. Este material se caracteriza por presentar bajos parámetros de resistencia y en presencia de agua tiende a comportarse como un fluido.

A continuación se presenta el análisis de esfuerzo deformación el cual nos permite ver los asentamientos probables que se pueden presentar el sector barrios Ricaurte y San Andresito.

**Figura 103.** Análisis esfuerzo deformación, barrios Ricaurte y San Andresito.



Fuente: Elaboración Propia

El modelo de esfuerzo deformación nos muestra deformaciones mayores de 12 milímetros (probabilidad cualitativa = 5, Muy alta). A continuación en la tabla 46 se presenta el resumen de los factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa.

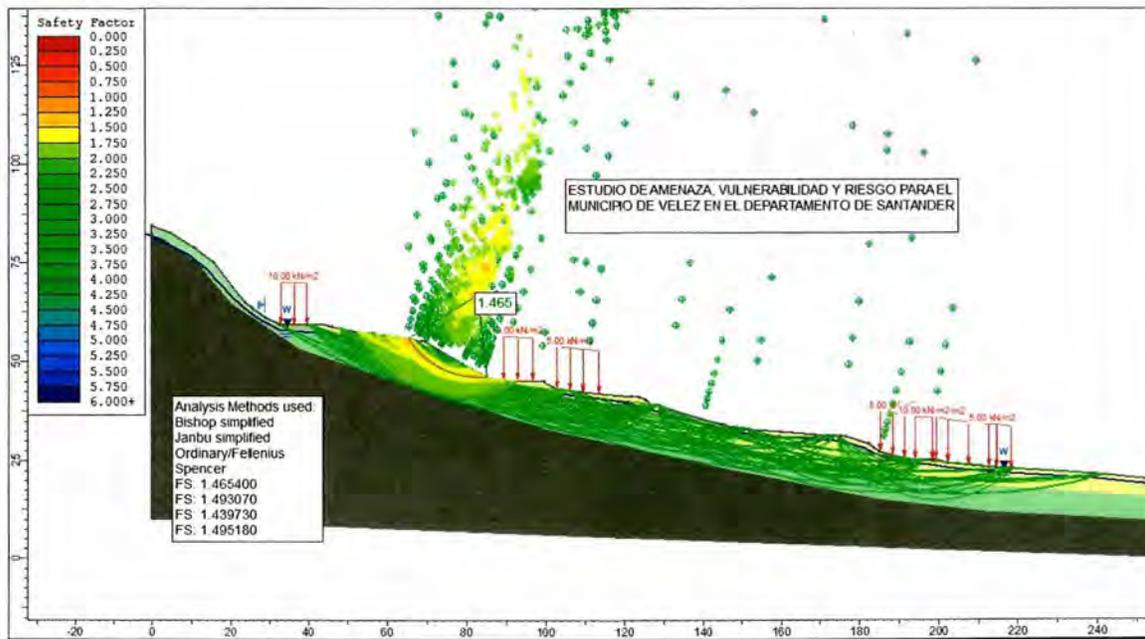
**Tabla 46.** Factores de seguridad y probabilidad cualitativa, barrios Ricaurte y San Andresito.

Análisis	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	PROBABILIDAD CUALITATIVA
	Fellenius	Bishop	Janbú	Spencer	
Análisis estático falla circular, barrios Ricaurte y San Andresito.	1.0621	1.1422	1.0964	1.1004	ALTO
Análisis dinámico falla circular, barrios Ricaurte y San Andresito. Acercación sísmica de 0.15g.	0.7696	0.8368	0.8146	0.8037	MUY ALTO

Fuente: Elaboración Propia

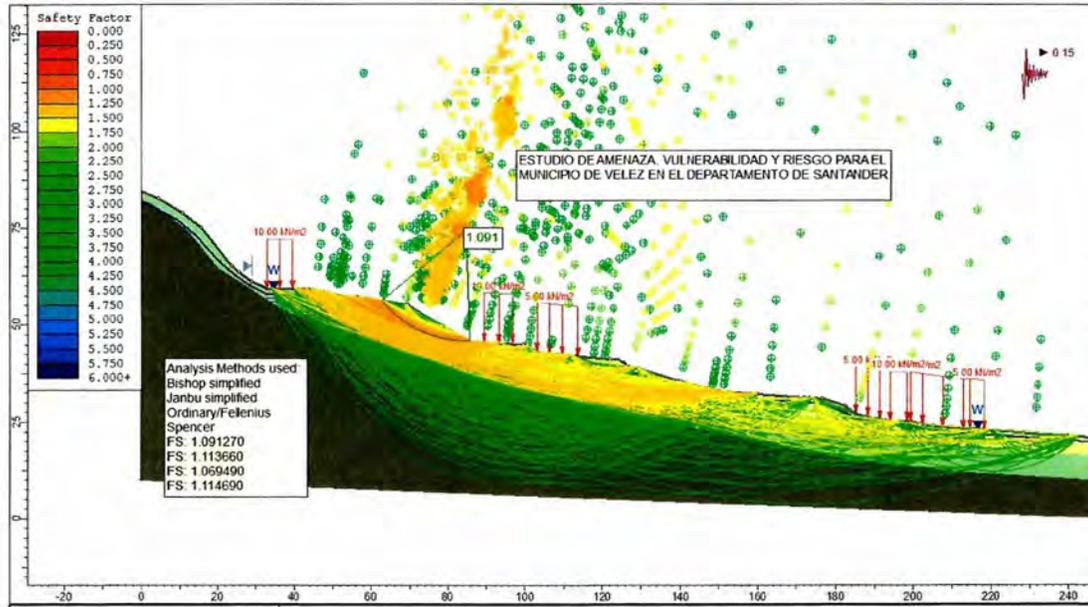
Teniendo presente lo anterior, se procedió a realizar los respectivos análisis de estabilidad con obras de mitigación. Los resultados para la condición sin obras muestran claramente que los terrenos deben ser intervenidos. Las obras propuestas consisten en la construcción de filtros longitudinales en las carreras 2 y 3 utilizando el alineamiento del sistema de recolección de aguas lluvias próximas a construirse los cuales buscan abatir el nivel freático; adicionalmente se requiere la construcción de galería con drenes de penetración y un sistema de recolección de aguas.

**Figura 104.** Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, barrios Ricaurte y San Andresito.



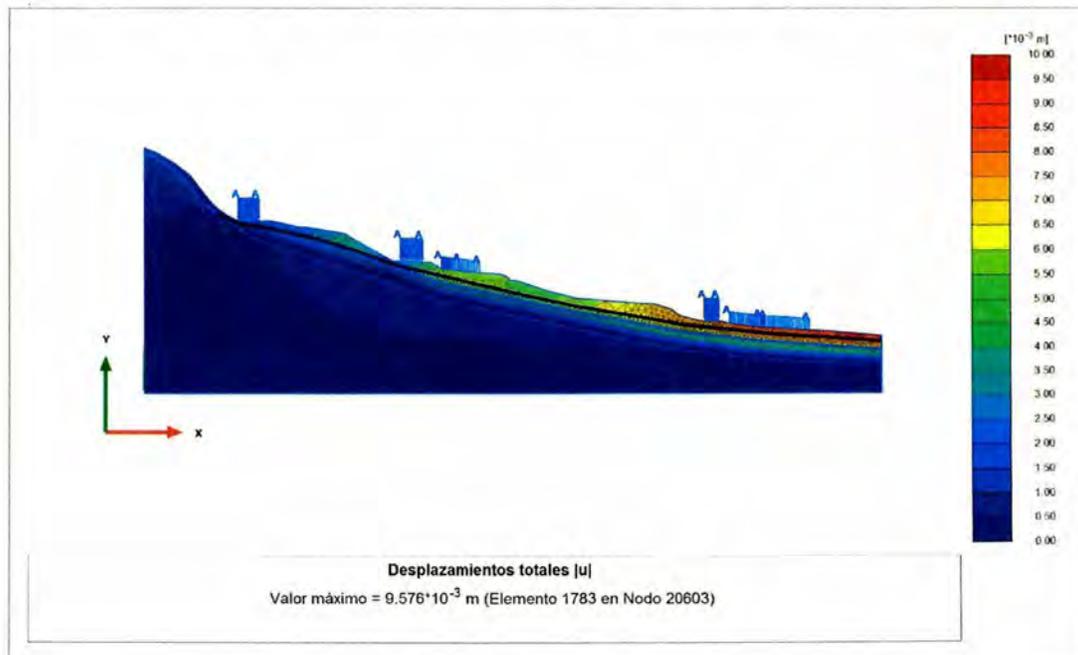
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 105.** Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, aceración sísmica de 0.15g, barrios Ricaurte y San Andresito.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 106.** Análisis esfuerzo deformación con obras de mitigación, barrio Ricaurte.



Fuente: Elaboración Propia

Los modelos de esfuerzo deformación con las obras de mitigación propuestas nos muestran una reducción en las deformaciones pasando de 70 a 10 milímetros (probabilidad cualitativa Muy Alta a Alta). A continuación se presenta el resumen de los factores de seguridad obtenidos en los modelos y su respectiva probabilidad cualitativa:

**Tabla 47.** Factores de seguridad y probabilidad cualitativa con obras de mitigación, barrios Ricaurte y San Andresito.

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer	Probabilidad cualitativa
Análisis estático falla circular, con obras de mitigación, barrios Ricaurte y San Andresito	1.4397	1.4654	1.493	1.4951	MEDIO
Análisis dinámico falla circular, con obras de mitigación, barrios Ricaurte y San Andresito. Aceración sísmica de 0.15g.	1.0694	1.0912	1.1136	1.1146	ALTO

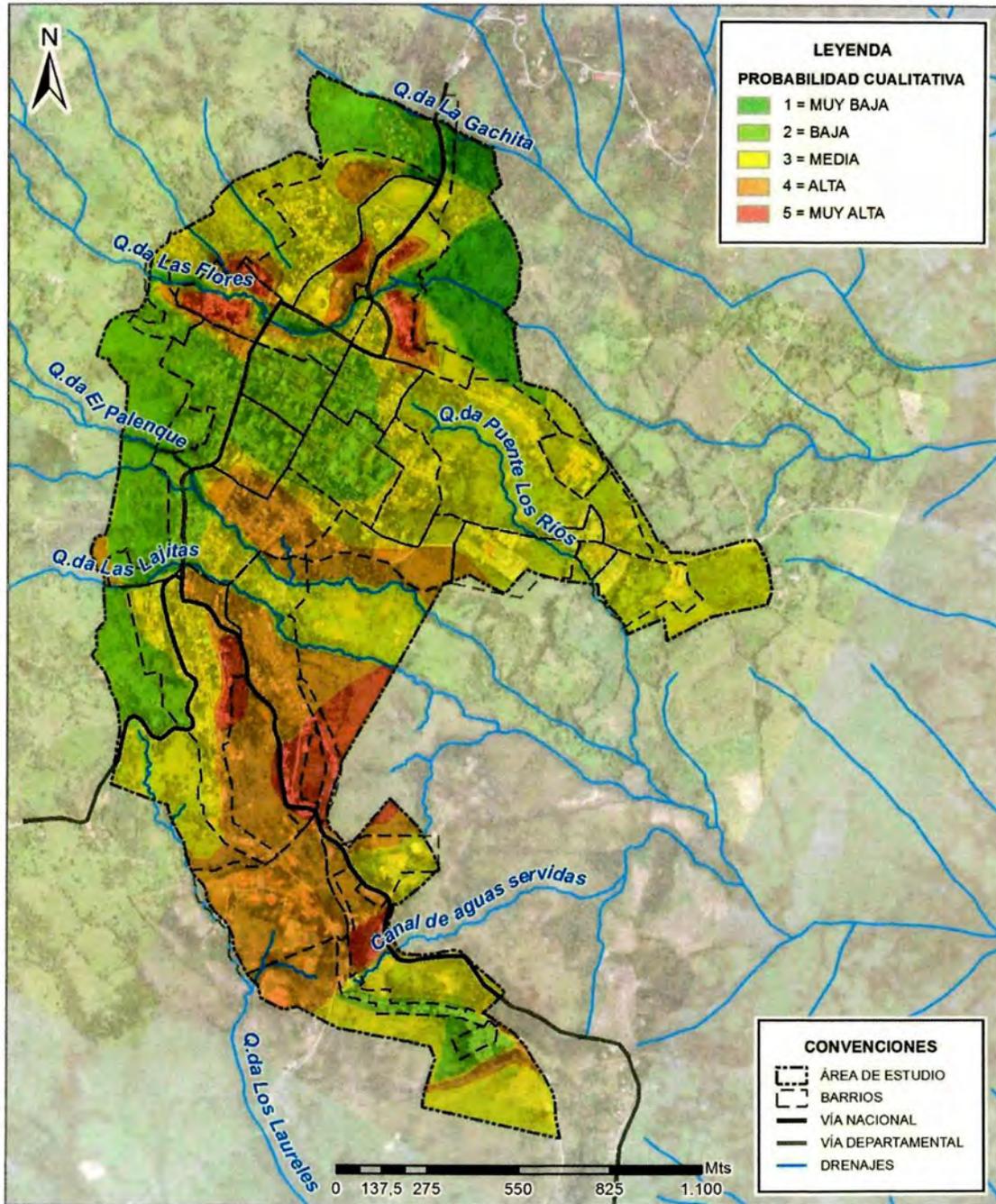
Fuente: Elaboración Propia

## 2.3 ZONIFICACIÓN POR AMENAZA GEOTÉCNICA

En este capítulo se condensan los resultados de los análisis de estabilidad y deformaciones probables bajo condiciones extremas realizados, especialmente para los sitios más críticos del casco urbano de la población y se plasman en mapas, de acuerdo con las ponderaciones cualitativas establecidas en el numeral 2.3.5. Se elaboraron dos mapas: el primero de probabilidad de falla cualitativa con los factores de seguridad obtenidos y el segundo con base en las deformaciones probables, habida cuenta de que su magnitud, aún bajo condiciones de estabilidad, puede llegar a causar daños sobre las viviendas.

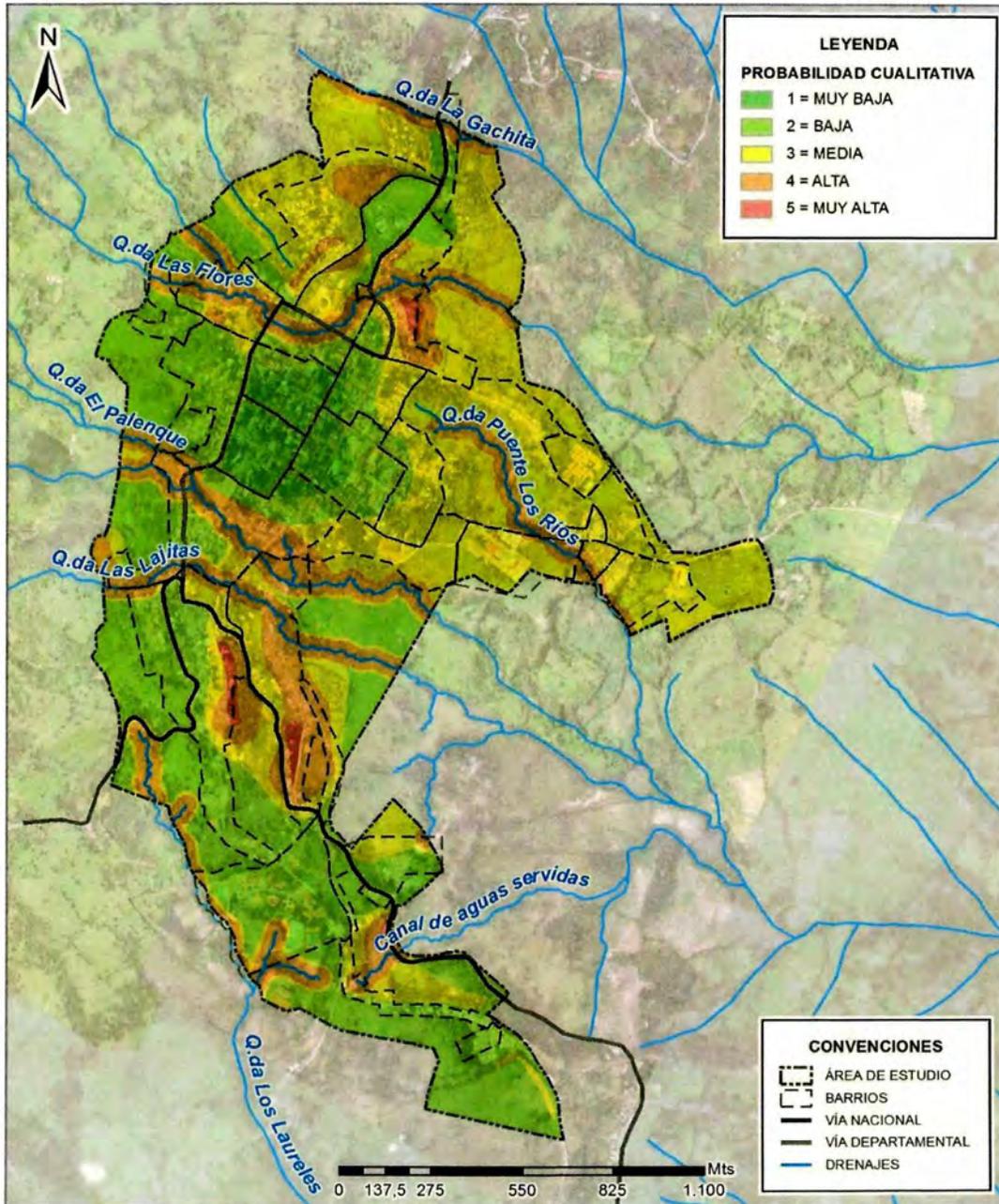
En las figuras 107 y 108, se presentan los mapas de zonificación de probabilidad de falla por deslizamiento, evaluado mediante factores de seguridad y probabilidad de falla y el de zonificación por la magnitud de las deformaciones probables.

**Figura 107.** Zonificación por deformación probable, probabilidad de falla cualitativa (Plano U-22).



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 108.** Zonificación por factor de seguridad, probabilidad de falla cualitativa (Plano U-23).



Fuente: Elaboración Propia

Se delimitaron las siguientes zonas, según el grado de amenaza.

### **2.3.1 Zonas de amenaza baja y muy baja**

En estas zonas no se ha presentado eventos recientes de importancia, lo que las hace calificar con un bajo a nulo potencial a la ocurrencia de movimientos en masa. Los suelos del sector central del casco urbano son susceptibles a movimientos superficiales, por lo que se pueden presentar eventuales reptaciones y flujos superficiales.

Son zonas con afloramientos de suelos competentes a poca profundidad, por lo general con pendientes menores a  $10^\circ$ , conformando por zonas planas a levemente inclinadas. Los materiales presentes están conformados principalmente por limos arcillosos seguidos de limolitas de la Formación Paja. Según los modelos determinísticos de estabilidad, correspondientes a un escenario bajo condiciones saturadas y con sismo, presentan factores de seguridad estáticos F.S.  $> 1.5$ , dinámicos F.S.  $> 1.2$  y con asentamientos probables menores de 6 milímetros, calificándolas como laderas estables. Corresponden a las zonas que se identifican con coloraciones verdes.

### **2.3.2 Zonas de amenaza media**

Son zonas susceptibles a los movimientos con un moderado potencial de ocurrencia de movimientos en masa. Estas zonas se encuentran por lo general en sectores de morfología ondulada, en donde se pueden presentar flujos, deslizamientos rotacionales y reptaciones. Se esperaría que la severidad de los daños sea de moderada a leve con base en la frecuencia de los procesos y presencia de edificaciones con algunas fisuras.

Estas zonas presentan suelos sueltos superficiales, por lo general con pendientes entre  $10-30^\circ$ , formando por lo general laderas. Los materiales presentes están conformados predominantemente por limos arcillosos seguidos de roca limolita, fisil y laminadas de la Formación Paja, las cuales desarrollan suelos residuales, plásticos. Según los modelos determinísticos de estabilidad correspondientes a escenario bajo condiciones saturadas y con sismo, presentan factores de seguridad estáticos entre  $1.2 < \text{F.S.} < 1.5$ , dinámicos entre  $1.0 < \text{F.S.} < 1.2$ , y con deformaciones probables entre 6 y 10 milímetros, calificándolas como laderas medianamente estables. En los mapas corresponden a zonas identificadas con color amarillo.

### **2.3.3 Zonas de amenaza alta**

Estas zonas son susceptibles a los movimientos de remoción en masa y es de esperarse grandes deformaciones, deslizamientos y agrietamiento en las viviendas. Se puede calificar con un alto potencial a la ocurrencia de movimientos en masa. Con el objeto de impedir el progresivo desarrollo de los actuales procesos inestables, se sugiere la intervención de estos sectores, así como la implementación de obras de mitigación y control en los sitios críticos identificados.

Son zonas con afloramientos de suelos sueltos entre profundidades de 2.0 a 5.0 metros aproximadamente, seguidos de roca algo meteorizada de limolitas laminadas, físisiles de la

Formación Paja, las cuales desarrollan suelos residuales plásticos. Sin embargo se encuentran algunos depósitos recientes, sueltos, afectados por movimientos en masa y algunos llenos antrópicos, por lo general cubiertos por construcciones urbanas y por vegetación secundaria de tipo arbustivo y herbáceo. Son en buena parte el resultado de cambios de uso del suelo que han afectado las geoformas naturales y los drenajes naturales de la zona. Según los modelos determinísticos de estabilidad, correspondientes a un escenario bajo condiciones saturadas y con sismo, presentan factores de seguridad estáticos  $1.0 < F.S. < 1.2$ , dinámicos  $0.8 < F.S. < 1.0$ , y con asentamientos probables entre 10 y 14 milímetros, calificándolas como laderas de amenaza alta. En los mapas se identifican con el color anaranjado.

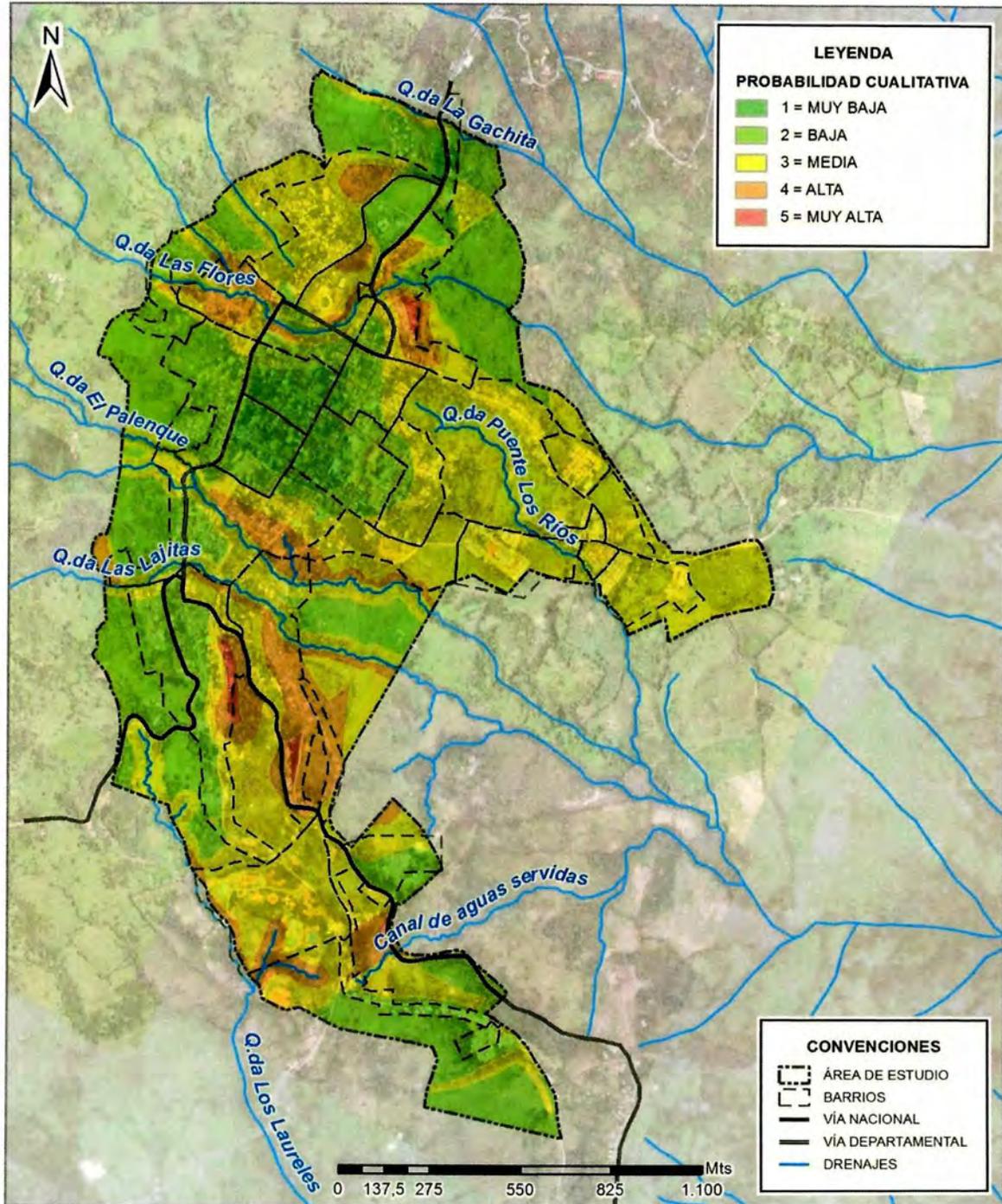
### **2.3.4 Zonas de amenaza muy alta**

Estos sectores corresponden a deslizamientos activos, que en las épocas de lluvias presentan grandes desplazamientos. Se encuentran ubicados en el barrio San Luis, junto a la quebrada las Flores, en la parte oriental del barrio Santa Teresita y el costado occidental del Barrio San Andresito. Estos movimientos se caracterizan por su avance retrogresivo, es decir, que de no intervenir las áreas afectadas, estos se incrementarán durante las épocas de lluvia. Para estos sectores se recomienda obras de control. Según los modelos determinísticos de estabilidad, correspondientes a un escenario bajo condiciones saturadas y con sismo, presentan factores de seguridad estáticos  $F.S. < 1.0$ , dinámicos  $F.S. < 0.8$ , y con asentamientos probables mayores de 14 milímetros, calificándolas como laderas sobre deslizamiento activo. En los mapas se identifican con el color rojo.

### **2.3.5 Mapa de zonificación por probabilidad de falla**

Los resultados de los mapas de probabilidad de falla por factor de seguridad y por deformaciones se superponen asignando un peso del 50% a cada una de las variables, con lo cual se genera el mapa global de probabilidad de falla, en el que las coloraciones anteriormente mencionadas tienen el mismo significado.

**Figura 109.** Zonificación por probabilidad de falla (Plano U-24).



Fuente: Elaboración Propia



### 3 CÁLCULO DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

Amenaza natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado período de tiempo (Varnes, 1984). Las remociones en masa han sido clasificadas por diferentes autores, Cruden & Varnes (1996), de acuerdo al tipo de movimiento y al material involucrado (Varnes, 1978). En este aspecto, los tipos de materiales, a partir de los cuales se pueden generar los distintos tipos de eventos, corresponden a rocas y suelos. La generación de movimientos y combinación de ellos darán el nombre al proceso de remoción en masa. Para tal efecto, la zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa en el área urbana de Vélez se basó en un método híbrido. La amenaza fue definida como la susceptibilidad a procesos de remoción en masa por las probabilidades de falla. Una vez obtenido el mapa de susceptibilidad, este se cruzó con el mapa de probabilidad de falla y su resultado es el mapa de amenaza (figura 109). Como criterios para definir los niveles de amenaza se utilizaron los siguientes:

#### Nivel de amenaza baja

Son terrenos "geológicamente estables" donde las amenazas por movimientos en masa de origen natural son mínimas o no existen.

#### Nivel de amenaza media

Son terrenos clasificados geológicamente como "relativamente inestables", en los cuales para adelantar la construcción de obras es necesaria la ejecución previa de trabajos que preserven su estabilidad o se establecen condicionantes para el manejo del terreno, orientados a conservar o mejorar su estabilidad natural.

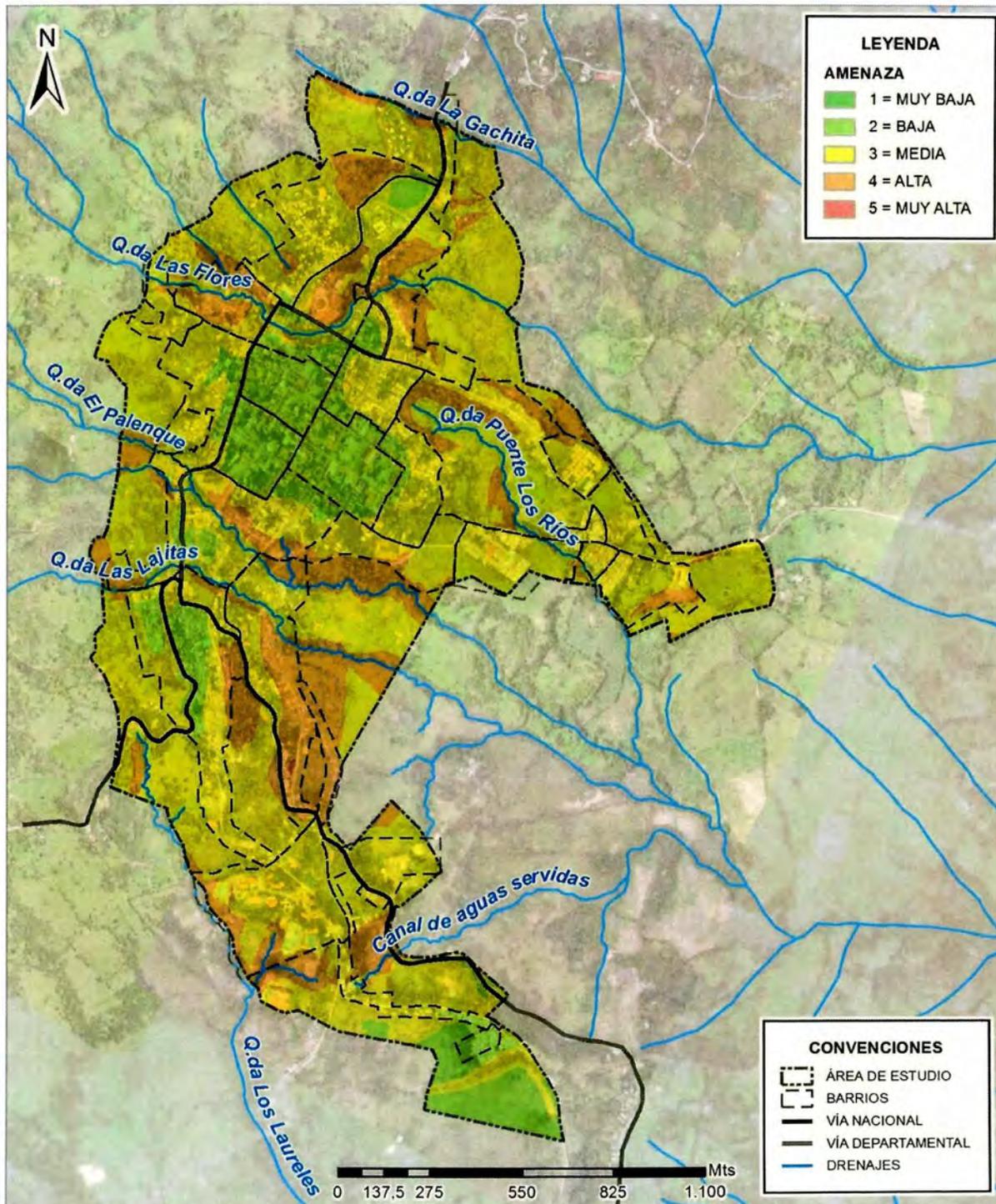
#### Nivel de amenaza alta

Son terrenos clasificados geológicamente como "medianamente inestables", en los cuales para adelantar la construcción de obras es **obligatoria** la ejecución previa de trabajos que preserven su estabilidad o se establezcan condicionantes para el manejo del terreno, orientados a conservar o mejorar su estabilidad natural como el manejo y control de las aguas freáticas, la cimentación mediante fundaciones especiales apoyadas sobre suelos profundos estables (pilotes, caissons, etc).

#### Nivel de amenaza muy alta

Pertenecen a esta clasificación terrenos catalogados como "inestables" en los cuales no se debe adelantar ninguna obra de construcción, debido a que presentan riesgos altos para la vida y bienes de la comunidad, además su recuperación es muy compleja, o demasiado costosa. Se deben destinar a zonas verdes, reforestación o de tratamientos especiales a largo plazo.

**Figura 110.** Zonificación de amenaza por movimientos de remoción en masa (Plano U-25).



Fuente: Elaboración Propia

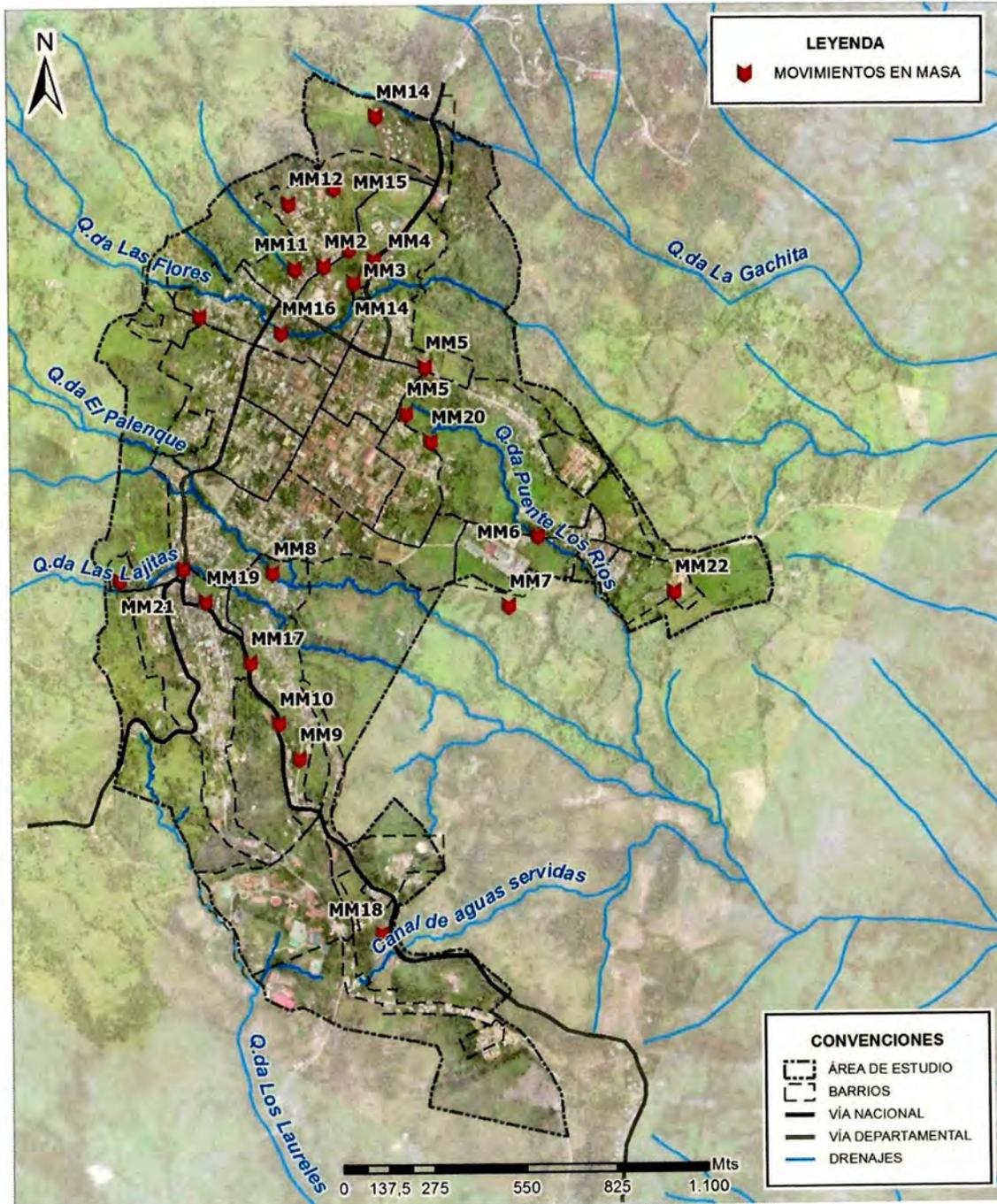


### 3.1 VERIFICACIÓN DE AMENAZA

#### 3.1.1 Inventario de procesos

Algunos sectores del municipio de Vélez presentan condiciones desfavorables de estabilidad, lo cual contribuye a la generación de procesos morfodinámicos que afectan la población y la infraestructura asentada en tales territorios. A través de la elaboración del presente inventario realizado durante la ejecución de este convenio, dicha hipótesis fue comprobada a nivel de detalle, arrojando 22 sitios inestables inventariados en la zona de estudio. En la figura 111 se presenta la localización de cada uno de ellos, mientras que en la Tabla 48 se relacionan los aspectos morfométricos más importantes, su mecanismo de falla estimado y su nivel de importancia dada por el grupo de trabajo en función de su incidencia o afectación directa. De acuerdo con los datos disponibles a la fecha, el mecanismo de falla típico predominante es el de deslizamiento traslacional en más del 80% de los casos combinados con flujos o reptaciones, seguido de las que están relacionadas con procesos de socavación lateral de las quebradas existentes.

Figura 111. Localización de movimientos en masa en el casco urbano de Vélez.



Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 48.** Inventario de deslizamientos del área urbana de Vélez.

ID	Ubicación	Formación superficial	Materiales	Tipo de movimiento	Estado	Magnitud	Afectación-Amenaza
MM1	Quebrada las Flores, frente a cruce vial (desvío hacia el municipio de Landáuzuri)	1AL	Depósito aluvial, con bloques rocosos hasta lodos, cubriendo estratos de lutitas consolidadas, grises y horizontalizadas	Socavación lateral (EFs)	Activo	Muy pequeño	Socavación lateral en la orilla norte de quebrada, de 3 m de alto.
MM2	Cra. 5 N° 12-155 barrio la Esperanza	RS2	Se infiere relleno antrópico que cubre coluvión	Deslizamiento traslacional		Muy pequeño	Hundimiento de la banca en media luna y ruptura del pavimento (placa en concreto), a margen derecha de la vía y en dirección hacia la cárcel
MM3	Parte media-alta de la microcuenca de la quebrada las Flores, vista desde el inicio de la vía destapada hacia los municipios de la Paz - Chipatá	RS2	Coluviones y aluviones, cubriendo discordantemente regolitos lodosos y lutitas gris oscuras	Movimiento en masa complejo: Reptación, flujos de lodos y detritico, deslizamientos traslacionales y avenidas torrenciales	Reactivo	Grande	Vertientes y terrenos Barrio San Luis (aproximadamente 10 casas) y sector del cementerio
MM4	Barrio San Luis, Vía hacia la Paz. Desde frente a la casa de la cra. 4 N° 13A-56 hasta restaurante (120 m adelante, al norte)	SS1	Suelo compuesto limos arcillosos plásticos	Deslizamiento traslacional	Activo	Pequeño	Deslizamiento traslacional de materiales sueltos superficiales los cuales se saturan y se fluyen sobre la roca.



ID	Ubicación	Formación superficial	Materiales	Tipo de movimiento	Estado	Magnitud	Afectación-Amenaza
MM5	Cra. 2 con calles 11	R2	Antigua microfrecuencia obturada por el urbanismo, en donde deben existir rellenos	Deslizamiento traslacional y reptación	Reactivo	Mediano	Deformación intensa y daños en las placas en concreto de la vía, en un tramo aproximado de 80 m
MM6	Subiendo por la transversal 1A; obra de cruce (estructura hidráulica) en drenaje, con cruce de red gas a margen derecha	AL	Suelo aluviales y lutitas meteorizadas pardo-grisáceas	Deslizamiento traslacional y reptación	Activo	Pequeño	Deformación de la vía, levantamiento de lozas y daño de la alcantarilla
MM7	Potrerros con acceso por el costado sur del barrio la Rosita y el SENA	SQ2	Depósito coluvial, de matriz lodosa, con bloques de areniscas nodulosas calcáreas, cubriendo lutitas grises	Deslizamiento traslacional (Dt) y erosión hídrica laminar (EHI)	Activo	Pequeño	Ladera (borde) de potrero de finca
MM8	Transversal 1A, cruce con la quebrada Palenque y aguas arriba hasta el puente vehicular de la cra. 3	AL	Depósitos aluviales sobre el cauce; en los taludes y sobre gran parte del canal afloran lutitas grises, masivas a laminadas, horizontales y con pátinas rojiza de óxidos férricos, y ocasionales regolitos al tope	Desprendimientos, Deslizamientos traslacionales, erosión hídrica laminar y socavación de fondo.	Reactivo	Pequeño	Taludes de la margen derecha, de hasta 8 m de alto

ID	Ubicación	Formación superficial	Materiales	Tipo de movimiento	Estado	Magnitud	Afectación-Amenaza
MM9	Salida al sur de Vélez, cra. 2 con calle 2, contigua a polideportivo, junto al barrio San Andresito	1SRE	Lutitas meteorizadas pardo-grisáceas	Reptación y deslizamiento traslacional.	Activo	Mediano	Vía en un tramo destapada y en otro pavimentada en concreto, con fuertes deformaciones, daños en las placas en concreto y rupturas en las cantarillas, en un tramo aproximado de 40 m
MM10	Vía nacional pavimentada, que involucra a los taludes interno y externo	1SRE	Lutitas gris claras y meteorizadas, laminadas y frías	Deslizamientos traslacionales (Dt) y flujos de lodos (Fl)	Estabilizado (entre nov. 2013 y enero 2014)	Mediano	Sobre ambos taludes hay obras de estabilización geotécnica del INV, con perfilado, revegetalización, pantallas ancladas, zanjas de coronación, bolsacretos, canales revestidos con geomembranas y dissipadores
MM11	Cra. 6 con 12, a mitad de calle (en vía destapada)	RS2	Lutitas gris claras, laminadas y fisibles, con concreciones discoidales de hasta 80 cm Ø	Desprendimientos y erosión laminar	Activo	Muy pequeño	Cornizas en talud de corte vial de 2.5 m
MM12	Potreros ladera arriba, hacia el flanco occidental; frente a la calle 13 con cra. 8, barrio la Esperanza Alto	RS2	Lutitas gris claras, laminadas y fisibles	Deslizamientos traslacionales y flujos de lodos	Reactivo	Mediano	Potreros con escarpes recientes y antiguos; árboles secos inclinados



ID	Ubicación	Formación superficial	Materiales	Tipo de movimiento	Estado	Magnitud	Afectación-Amenaza
MM13	Barrio Kennedy. Desde la calle 11 con cra. 8 y hacia el occidente, tomando el camino hacia la vereda Amarillas (Peña Tambor)	SS2	Coluviones y lutitas. La estratigrafía se debe confirmar mediante exploración geofísica y geotécnica	Movimiento en masa complejo; Reptación, deslizamiento traslacional y posible erosión hídrica interna	Reactivo	Mediano	Por lo menos tres casas con paredes parcialmente colapsadas y múltiples agrietamientos; daños en la vías y alcantarillado
MM14	Barrio los Cerezos, potreros de flanco occidental; microcuenca de la quebrada la Gacha	2AL	Coluviones con gravas (hasta tamaño guijarro) que cubren lutitas gris claras a pardas, laminadas y fisibles, con nódulos de hasta 6 cm Ø	Deslizamiento traslacional) y flujo de lodos	Activo	Pequeño	Su acumulación reduce el ancho de la vía destapada. Potreros con formas lobuladas y árboles inclinados
MM15	Parque Ecológico, sobre la vertiente sur del barrio los Cerezos y al occidente de la cancha de fútbol municipal	1SRE	Regolitos lodoso beige y lutitas gris claras, laminadas y fisibles, nodulosas	Deslizamiento traslacional	Inactivo	Mediano	Zona convertida en parque municipal. Se observan escarpes estabilizados y la corona de deslizamiento ocurrido hace dos años

ID	Ubicación	Formación superficial	Materiales	Tipo de movimiento	Estado	Magnitud	Afectación-Amenaza
MM16	Interior del Hospital Regional de Vélez, inmediaciones del canal cerrado y vertientes de la quebrada Flores	AL	Llenos antrópicos sobre terrenos aluviales-froca lutítica, evidentes en la parte posterior del hospital, que fueron dispuestos para ampliar patios, rellenar el canal y las vertientes de la quebrada las Flores	Subsidencia (Sb), erosión interna (EHi) y deslizamiento traslacional (Dt)	Reactivo	Pequeño	Hundimiento del box coluvert de la quebrada y daños severos en las placas en concreto de la vía (cra. 6, frente al hotel y lavadero de carros); colapso de muro hacia la cra. 6 y de los pisos y ruptura de tuberías de la caseta de residuos sólidos, y frente al acceso a parqueaderos; muros divisorios caídos y "embombados" en el costado norte del hospital, en linderos con el restaurante Macarena
MM17	Talud de corte interno de vía nacional, salida hacia Barbosa, entre el barrio Ricaurte el barrio Santa Teresita	R2	Llenos al tope del talud, cubriendo lutitas gris claras a beige, laminadas y fibiles, meteorizadas	Deslizamiento traslacional y flujo de lodos	Activo (generado en abril de 2011)	Mediano	Sin estabilizar. En riesgo tres casas de la parte superior. La acumulación detrítica no ha sido descargada, por lo cual se reduce un carril de la vía nacional
MM18	Estación de servicio BRIO, entrada al municipio de Vélez vía Barbosa	RS1	suelos residuales sueltos tope del talud, cubriendo lutitas, laminadas y fibiles, meteorizadas	Deslizamiento traslacional y falla de estructura de contención existente	Activo	Mediano	Falla de muro existente en mampostería producto de materiales sueltos y subpresión de niveles freáticos los cuales aumentan en épocas de lluvia.

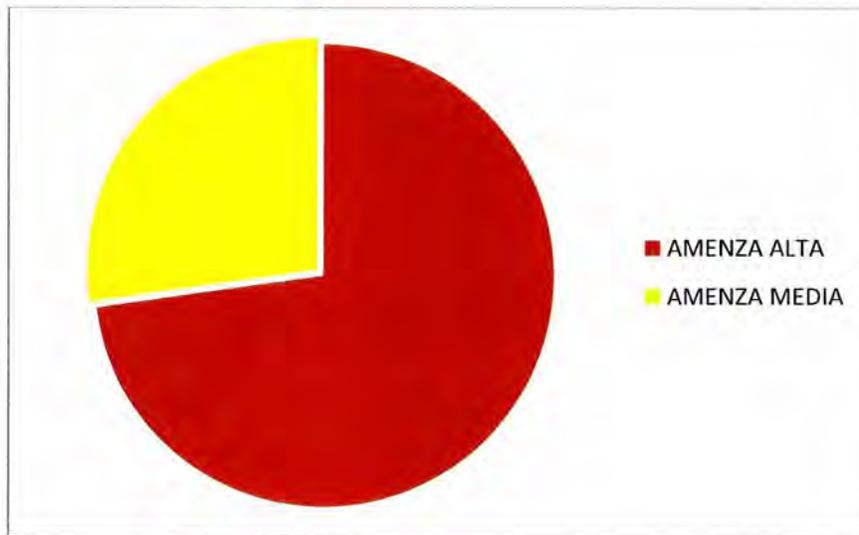
ID	Ubicación	Formación superficial	Materiales	Tipo de movimiento	Estado	Magnitud	Afectación-Amenaza
MM19	Carrera 5 con diagonal 4B	SS2	Suelos sueltos superficiales, sobre lutitas, laminadas y fisibles, meteorizadas	Reptación y deslizamiento	Activo	Mediano	Suelo suelto superficial los cuales se saturan en épocas de lluvias y entrega de estructura hidráulicas, ocasionando flujo de materiales sueltos sobre la roca.
MM20	Calle 11 con carrera 1	SQ2	Lleno antropogenico de la construcción de vía sobre Coluvión.	Deslizamiento traslacional	Activo	Pequeño	Deslizamiento traslacional de rellenos antropogenicos de la construcción de la vía los cuales se desliza cuando se saturan y se fluyen sobre la roca.
MM21	Parte alta del barrio El Palenque	SQ1	Coluviones superficiales sobre roca lutítica.	Reptación y deslizamiento	Activo	Mediano	Suelos coluviales suelto de poco espesor los cuales se saturan en épocas de lluvias y se desliza sobre la roca.
MM22	Parte alta del barrio El Palenque	SQ2	Coluviones superficiales sobre roca lutítica.	Reptación y deslizamiento	Activo	Mediano	Deslizamiento traslacional de suelos coluviales los cuales se desliza cuando se saturan y se fluyen sobre la roca.

Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.1.1 Relación entre los procesos inventariados y amenaza

En la figura 112 se muestra la distribución de los movimientos de remoción en masa inventariados en forma discretizada de acuerdo al nivel de amenaza, observándose que la gran mayoría (73%), se presentan en terrenos que se encuentran en niveles de amenaza alta. En menor proporción, se presentan movimientos de niveles de amenaza media (27%) y no se presenta ningún movimiento en niveles de amenaza baja.

**Figura 112.** Distribución de densidad de movimientos en masa inventariados según nivel de amenaza



Fuente: Elaboración Propia

## 4 CONCLUSIONES

Los resultados de las exploraciones de campo y laboratorio han permitido establecer unas zonas homogéneas en el área urbana del municipio de Vélez. En general, estas zonas se han definido teniendo en cuenta los tipos de suelos superficiales, el espesor de los suelos residuales, la profundidad de la roca y muy especialmente los niveles freáticos.

La litología existente en la zona de estudio corresponde a suelos residuales de los niveles superiores de la Formación Paja, que corresponden a Limolitas carbonáceas algo a muy meteorizadas. Superficialmente se encuentran, en algunos casos, depósitos de materiales sueltos con bajas propiedades geomecánicas, que suprayacen limos arcillosos de consistencia blanda a media baja y de media a alta deformabilidad, no aptos para la cimentación de estructuras y muy susceptibles a pérdida de propiedades en función de su humedad.

Se destaca que los suelos superficiales se encuentran con altos contenidos de humedad y en algunos casos saturados, siendo éste uno de los factores detonantes de los procesos de inestabilidad de los taludes y laderas, y deformabilidad de los suelos. Por tal razón, la mayor parte de las obras que se proponen para mitigación de la amenaza (Ver Plan sectorial para la mitigación), consisten en la construcción de estructuras de drenaje, con el fin de captar las aguas de infiltración y abatir los niveles freáticos. Drenes interceptores longitudinales de zanja se han propuesto con carácter prioritario en algunos puntos de la ciudad, como en la parte alta del barrio La Esperanza, parte alta del barrio Kennedy, la carrera cuarta en el barrio San Luis y un sistema de drenes en el sector de San Andresito y carrera segunda, entre la más importantes.

Se considera que estas estructuras de drenaje deben implementarse, con la misma finalidad, en aquellas áreas de futura expansión o de futuro uso de desarrollo urbano, como parte preparatoria del terreno antes de la construcción.

Igualmente se proponen algunas obras de contención (Ver Plan sectorial para la mitigación), en sitios donde se han observado movimientos activos, que pueden generar daños en estructuras viales o de servicios y de viviendas, como el caso de la carrera 6ª en la parte baja del barrio La Esperanza, Santa Teresita, Santander, entre los más importantes. Estas estructuras deben ser cimentadas sobre roca y en algunos casos dentro de la roca, para que sean eficientes en la contención de los movimientos.

Se considera de importancia, el que se adopten estructuras de cimentación acordes con las condiciones de suelos, teniéndose en cuenta que la inestabilidad de estos están ligados a sus altos niveles de humedad sobre terrenos de alta impermeabilidad natural como son las rocas subyacentes, de modo que incluso en los terrenos planos que no sean objeto de las obras de subdrenaje acá propuestas, en el caso de las edificaciones a construirse, requerirían cimentaciones más próximas a la roca dura subyacente y de estructuras

especiales como pilotes, caissons, etc, cuando se trate de rellenos antrópicos, como en el caso de barrios como La Feria, San Luis, Ricaurte y San Andresito.

Se considera que un cambio en el uso del suelo, especialmente en la parte alta de la ciudad, aplicando cultivos de especies que requieran grandes cantidades de agua, puede ayudar en la disminución de la cantidad de agua que se infiltra en los suelos hacia la parte baja.

Es importante destacar que la amenaza por fenómenos de remoción en masa es dinámica y por tanto cambiante con el tiempo. Es probable que dependiendo del grado de intervención que hayan tenido las laderas, en cuanto a avance de urbanización y obras de mitigación, el panorama del mapa de amenazas tenga cambios importantes en el tiempo. Por lo tanto, es importante realizar actualizaciones del mapa que aquí se presenta, por lo menos cada cinco años, para lo cual se recomienda realizar las obras de mitigación que se proponen y aplicar los controles en los procesos constructivos, de acuerdo con las medidas que se deriven de la aplicación de este estudio y con la misma metodología acá empleada.

**ESTUDIO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN  
MASA DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ, DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

**VOLUMEN II-C  
ESTUDIO DE VULNERABILIDAD Y RIESGO INDICATIVO  
DEL CASCO URBANO DE VÉLEZ**

**ELABORADO POR:**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**GEOMÁTICA**

**Gestión y optimización de sistemas**

**PRESENTADO A:**



**Municipio de Vélez**

**AGOSTO DE 2015  
BUCARAMANGA**

**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO:****No. 9677-04-1127-2013**

**OBJETO:** Aunar esfuerzos administrativos, financieros y técnicos para contratar y desarrollar el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Municipio de Vélez, Departamento de Santander

**INFORME:** Volumen II-C Evaluación de la vulnerabilidad por remoción en masa de edificaciones

**ELABORADO POR:** UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



Grupo de investigación:

GEOMATICA, Gestión y optimización de sistemas



**Coordinación técnica** Hebenly Celis Leguizamo  
Ingeniera Civil  
Especialista en Asfaltos y Pavimentos  
Magíster en ingeniería Civil

Wilfredo Del Toro Rodríguez  
Ingeniero Civil  
Magíster en ingeniería Civil-Área Geotecnia  
Especialista en preservación de recursos hídricos y de suelos

**Director general** Hernán Porras Díaz  
Ingeniero Civil  
Magíster en Informática  
Magíster en Gestión Tecnológica  
Doctor Ingeniero en Telecomunicaciones

Bucaramanga, Agosto de 2015

**Equipo técnico**

Darío Villamizar  
Ingeniero Forestal  
Magíster en Geografía física  
Especialista políticas ambientales en la conducción de proyectos

German Alfonso Reyes Mendoza  
Geólogo  
Especialista en Riesgos Geológicos y Prevención de Desastres  
Especialista en Derecho Ambiental  
Magíster en Geología  
Estudiante de Doctorado

Gustavo Chio Cho  
Ingeniero Civil  
Especialista en Docencia Universitaria  
Doctor en Ingeniería de caminos, Canales y puentes

Wilfredo Del Toro Rodríguez  
Ingeniero Civil  
Magíster en ingeniería Civil-Área Geotecnia  
Especialista en preservación de recursos hídricos y de suelos

Luis Eduardo Moreno Torres  
Ingeniero civil  
Especialista en Ingeniería Ambiental  
Especialista en Alta Gerencia  
Especialista en Docencia Universitaria

Héctor Torres Ortiz  
Ingeniero civil  
Estudiante de Maestría en Geotecnia

Silvia Ruggeri  
Bióloga  
Especialista en Monitoreo Biológico

**Equipo de apoyo técnico**

Johanna Lucia Pimiento Ardila  
Ingeniera civil

Andrea Marcela Vera Guarín  
Ingeniera civil

Yuseth Sebastián Gómez Neira  
Ingeniero civil

Andrés Julián Ulloa Moreno  
Ingeniero civil

John Jairo Báez Lizarazo  
Ingeniero civil

Sandy Jair Yanes Sánchez  
Ingeniero Civil  
Especialista en Sistemas de información Geográfica

Jesús Orlando Escalante Torrado  
Ingeniero civil  
Estudiante de Maestría En Ingeniería Civil

Dewin Aguilera Lizarazo  
Geólogo  
Estudiante de Maestría en Geotecnia

Duvan Yahir Sanabria Echeverry  
MSc. Ing. Sistemas e Informática

Elver Omar Gallo Lancheros  
MSc. Ing. Sistemas e Informática



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>17</b>
<b>2. IDENTIFICACIÓN, RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN</b> .....	<b>18</b>
2.1. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	18
2.2. LEVANTAMIENTO DE CAMPO DE EDIFICACIONES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	18
<b>3. LEVANTAMIENTO GENERAL DE CAMPO</b> .....	<b>19</b>
3.1. INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN - FORMULARIO DE INVENTARIO.....	19
3.2. CONFORMACIÓN DE LA COMISION DE CAMPO.....	21
3.3. EJECUCIÓN Y AVANCE DEL LEVANTAMIENTO.....	22
3.4. RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO GENERAL.....	28
3.4.1. Características generales de la zona de estudio.....	28
3.4.2. Estadísticas características generales de la zona.....	29
<b>4. LEVANTAMIENTO DETALLADO DE CAMPO</b> .....	<b>36</b>
4.1. TIPIFICACIÓN DE LAS EDIFICACIONES.....	36
4.2. MUESTRA REPRESENTATIVA DE LA TIPIFICACIÓN DE LAS EDIFICACIONES.....	38
4.3. CONFORMACIÓN DE LA COMISIÓN DE CAMPO.....	41
4.4. INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN - FORMULARIO PARA LA EVALUACIÓN DE LAS EDIFICACIONES.....	41
4.5. EJECUCIÓN Y AVANCE DEL LEVANTAMIENTO.....	42
<b>5. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD</b> .....	<b>44</b>
5.1. MODELO PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD FÍSICA.....	44
5.1.1. Algoritmo para el cálculo del índice de vulnerabilidad.....	46
5.1.2. Variables lingüísticas utilizadas.....	47
5.1.3. Valores de calidad y de importancia del modelo.....	48
5.1.4. Parámetros del índice de vulnerabilidad.....	53
5.1.5. Parámetros del índice de vulnerabilidad de las edificaciones de la zona de estudio.....	66
5.1.6. Índice de vulnerabilidad zona urbana.....	82
<b>6. EVALUACIÓN DEL RIESGO</b> .....	<b>85</b>
6.1. CATEGORIZACIÓN Y VALORIZACIÓN DEL RIESGO.....	85
6.2. EVALUACIÓN DEL RIESGO.....	86
6.2.1. Riesgo alto.....	89
6.2.2. Riesgo medio.....	101
6.3. TABLA RESUMEN DE RESULTADOS.....	102
<b>7. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL</b> .....	<b>103</b>
7.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA TIPO.....	103



7.1.1.	Edificaciones representativas de la muestra .....	103
7.2.	MODELAMIENTO CASAS PROYECTO DE VELEZ .....	119
7.2.1.	Datos de los materiales usados en las distintas edificaciones .....	119
<b>8.</b>	<b>VULNERABILIDAD DE LAS REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO.....</b>	<b>127</b>
8.1.	MARCO TEÓRICO: METODOLOGÍAS PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA VULNERABILIDAD DE REDES VITALES .....	127
8.1.1.	Método cualitativo para la vulnerabilidad de los sistemas:.....	127
8.1.2.	Métodos cuantitativos de la vulnerabilidad física.....	132
8.2.	ANÁLISIS CUALITATIVO.....	137
8.2.1.	Identificación y descripción funcional de los componentes del sistema de acueducto y alcantarillado .....	137
8.2.2.	Matrices de vulnerabilidad .....	147
8.3.	ANÁLISIS CUANTITATIVO.....	154
8.3.1.	Cálculo tipo: tramo t-398 de la red de distribución de agua potable.....	157
8.3.2.	Resultados .....	160
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....</b>	<b>163</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Partes del Formulario de Levantamiento General de información, Municipio de Vélez. ....	20
<b>Figura 2.</b>	Comisión de campo en zona de estudio. ....	21
<b>Figura 3.</b>	Resumen de edificaciones encontradas en Levantamiento general en la zona de estudio. ....	28
<b>Figura 4.</b>	Características generales–Material ....	29
<b>Figura 5.</b>	Mapa Características generales – material de las edificaciones de la zona de estudio (Plano U-29). ....	30
<b>Figura 6.</b>	Características generales – Vegetación Del Sitio ....	31
<b>Figura 7.</b>	Características generales – Uso De La Edificación ....	31
<b>Figura 8.</b>	Mapa características generales – uso de la edificación de las edificaciones de la zona de estudio (Plano U-30). ....	32
<b>Figura 9.</b>	Características generales – Número De Pisos. ....	33
<b>Figura 10.</b>	Características generales – Pendiente Del Terreno. ....	33
<b>Figura 11.</b>	Mapa Características generales – Número De Pisos de las edificaciones de la zona de estudio (Plano U-28). ....	34
<b>Figura 12.</b>	Características generales – Sistema de control de erosión ....	35
<b>Figura 13.</b>	Características generales – Ubicación respecto del talud. ....	35
<b>Figura 14.</b>	Tipologías de sistema estructural encontradas y analizadas en la zona de estudio ....	37
<b>Figura 15.</b>	Ubicación edificaciones de la muestra representativa de las tipologías de Sistema estructural analizadas en la zona de estudio. ....	40
<b>Figura 16.</b>	Formulario Tipo de Levantamiento Detallado de información, Municipio de Vélez. ....	42
<b>Figura 17.</b>	Muestra del Registro fotográfico Levantamiento Detallado de información, Municipio de Vélez. ....	43
<b>Figura 18.</b>	Esquema del modelo propuesto. ....	44
<b>Figura 19.</b>	Funciones de pertenencia de las variables lingüísticas nada, poco, medianamente, Muy y absolutamente vulnerable. ....	48
<b>Figura 20.</b>	Clasificación de los grados de vulnerabilidad. ....	53
<b>Figura 21.</b>	Parámetros del modelo de vulnerabilidad de edificaciones ....	53
<b>Figura 22.</b>	Representación del movimiento del terreno. ....	57
<b>Figura 23.</b>	Espectro de pseudo-aceleración (Z(g)) para un desplazamiento del terreno de 2.5cm ....	58
<b>Figura 24.</b>	Sistema estructural de edificaciones en mampostería. ....	66
<b>Figura 25.</b>	Registro fotográfico, Edificaciones en mampostería confinada con deficiencias en el confinamiento de sus muros de mampostería. Levantamiento General Municipio de Vélez. ....	67
<b>Figura 26.</b>	Sistema estructural de edificaciones en hormigon. ....	67
<b>Figura 27.</b>	Registro fotográfico, Edificaciones en Hormigón - Levantamiento General Municipio de Vélez. ....	68
<b>Figura 28.</b>	Sistema estructural de edificaciones en tapia pisada. ....	69



<b>Figura 29.</b>	Registro fotográfico, Edificaciones en Tapia pisada que presentan deficiencias en el sistema. Levantamiento General Municipio de Vélez.....	69
<b>Figura 30.</b>	Calidad del sistema de edificaciones en mampostería.....	70
<b>Figura 31.</b>	Registro fotográfico, Edificaciones en mampostería confinada con materiales de baja calidad con piezas no muy homogéneas y/o mal ligadas. Levantamiento General Municipio de Vélez.....	70
<b>Figura 32.</b>	Calidad del sistema en Hormigón.....	71
<b>Figura 33.</b>	Calidad del sistema en Tapia Pisada.....	71
<b>Figura 34.</b>	Registro fotográfico, Edificaciones en Tapia pisada con deficiencias en el sistema como agrietamientos tipo capilar hasta grave deterioro de la estructura.....	72
<b>Figura 35.</b>	Configuración en altura para edificaciones en Mampostería.....	73
<b>Figura 36.</b>	Configuración en altura para edificaciones Hormigón.....	73
<b>Figura 37.</b>	Configuración en altura para edificaciones en Tapia Pisada.....	74
<b>Figura 38.</b>	Ubicación de la edificación.....	74
<b>Figura 39.</b>	Posición de la cimentación.....	75
<b>Figura 40.</b>	Registro fotográfico, Edificaciones cuya cimentación no se encuentra a una misma cota.....	76
<b>Figura 41.</b>	Cimentación de edificaciones en Mampostería.....	77
<b>Figura 42.</b>	Registro fotográfico, Edificaciones cimentadas sobre elementos esbeltos (tipo zancos).....	77
<b>Figura 43.</b>	Cimentación de edificaciones en Hormigón.....	78
<b>Figura 44.</b>	Cimentación de edificaciones en Tapia Pisada.....	78
<b>Figura 45.</b>	Tipo de Suelo.....	78
<b>Figura 46.</b>	Vegetación del sitio.....	79
<b>Figura 47.</b>	Muros de contención.....	79
<b>Figura 48.</b>	Sistema de drenaje.....	80
<b>Figura 49.</b>	Manejo de basuras.....	80
<b>Figura 50.</b>	Estado de conservación del entorno.....	81
<b>Figura 51.</b>	-Estado de conservación de las edificaciones en mampostería.....	81
<b>Figura 52.</b>	-Estado de conservación de las edificaciones en Hormigón.....	82
<b>Figura 53.</b>	Estado de conservación de las edificaciones en Tapia pisada.....	82
<b>Figura 54.</b>	Mapa Índice de Vulnerabilidad Zona Urbana y expansión urbana (Plano U-27).....	84
<b>Figura 55.</b>	Mapa Evaluación del Riesgo Zona Urbana y Suburbana, Municipio de Vélez (Plano U-33).....	88
<b>Figura 56.</b>	Muestra de registro fotográfico de edificaciones categorizadas en Riesgo alto.....	89
<b>Figura 57.</b>	Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto no mitigable.....	90
<b>Figura 58.</b>	Muestra de registro fotográfico de zona de edificaciones categorizadas en Riesgo alto no mitigable.....	91
<b>Figura 59.</b>	Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto mitigable, Zona Urbana y suburbana.....	92
<b>Figura 60.</b>	Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto mitigable, SECTOR 1/ Zona Urbana y suburbana.....	93
<b>Figura 61.</b>	Registro fotográfico SECTOR 1 edificaciones en Riesgo Alto mitigable.....	93
<b>Figura 62.</b>	Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto mitigable, SECTOR 2.....	94



**Figura 63.** Registro fotográfico SECTOR 2 edificaciones en Riesgo Alto mitigable. .... 94

**Figura 64.** Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto mitigable, SECTOR 3. .... 95

**Figura 65.** Registro fotográfico SECTOR 3 edificaciones en Riesgo Alto mitigable. .... 95

**Figura 66.** Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto mitigable, SECTOR 4. .... 96

**Figura 67.** Registro fotográfico SECTOR 4 edificaciones en Riesgo Alto mitigable. ... 96

**Figura 68.** Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto mitigable, SECTOR 5/ Zona Urbana y suburbana. .... 97

**Figura 69.** Registro fotográfico SECTOR 5 edificaciones en Riesgo Alto mitigable. ... 98

**Figura 70.** Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto mitigable, SECTOR 6. .... 99

**Figura 71.** Registro fotográfico SECTOR 6 edificaciones en Riesgo Alto mitigable. ... 99

**Figura 72.** Muestra de registro fotográfico de edificaciones categorizadas en Riesgo medio. .... 101

**Figura 73.** Subdivisión de la categorización para riesgo medio. .... 101

**Figura 74.** Registro fotográfico Edificación Barrio Centro. Levantamiento Detallado. . 104

**Figura 75.** Modelo en Sap2000. Barrio Centro. Modelamientos estructural. .... 104

**Figura 76.** Registro fotográfico Edificación Barrio San Luis. Levantamiento Detallado. .... 105

**Figura 77.** Modelo en Sap2000 Barrio San Luis. Modelamientos estructural. .... 105

**Figura 78.** Registro fotográfico Barrio San Luis. Levantamiento Detallado. .... 106

**Figura 79.** Modelo en Sap2000 Barrio San Luis. .... 106

**Figura 80.** Registro fotográfico Barrio Santander. Levantamiento Detallado. .... 107

**Figura 81.** Modelo en Sap2000 Barrio Santander. Levantamiento Detallado. .... 107

**Figura 82.** Registro fotográfico Barrio Reino Unido Levantamiento Detallado. .... 108

**Figura 83.** Modelo en Sap2000 Barrio Reino Unido. Levantamiento Detallado. .... 108

**Figura 84.** Registro fotográfico Barrio Francisco Benavides. Levantamiento Detallado. .... 109

**Figura 85.** Modelo en Sap2000 Barrio Francisco Benavides. Levantamiento Detallado. .... 109

**Figura 86.** Registro fotográfico Barrio Francisco Benavides. Levantamiento Detallado. .... 110

**Figura 87.** Modelo en Sap2000 Barrio Francisco Benavides. Levantamiento Detallado. .... 110

**Figura 88.** Registro fotográfico Barrio Aquileo Parra. Levantamiento Detallado. .... 111

**Figura 89.** Modelo en Sap 2000 Barrio Aquileo Parra. Levantamiento Detallado. .... 111

**Figura 90.** Registro fotográfico Barrio Kennedy. Levantamiento Detallado. .... 112

**Figura 91.** Modelo en Sap 2000 Barrio Kennedy. Levantamiento Detallado. .... 112

**Figura 92.** Registro fotográfico Levantamiento Detallado. .... 113

**Figura 93.** Modelo en Sap 2000 Levantamiento Detallado. .... 113

**Figura 94.** Registro fotográfico Vda Tuvavita. Barrio Los Cerezos Levantamiento Detallado. .... 114

**Figura 95.** Modelo en Sap 2000 Edificación Vda Tuvavita. Barrio Los Cerezos Levantamiento Detallado. .... 114

**Figura 96.** Registro fotográfico Barrio El Campin Levantamiento Detallado. .... 115

**Figura 97.** Modelo en Sap 2000 Barrio El Campin. .... 115

**Figura 98.** Registro fotográfico Barrio Ricaurte. Levantamiento Detallado. .... 116

<b>Figura 99.</b>	Modelo en Sap 2000 Barrio Ricaurte. Levantamiento Detallado.....	116
<b>Figura 100.</b>	Registro fotográfico Barrio Arallanes. Levantamiento Detallado.....	117
<b>Figura 101.</b>	Modelo en Sap 2000 Barrio Arallanes. Levantamiento Detallado.....	117
<b>Figura 102.</b>	Registro fotográfico Casa 1. Barrio Esperanza Alta. Levantamiento Detallado. .....	118
<b>Figura 103.</b>	Modelo en Sap 2000 Casa 1. Barrio Esperanza Alta. Levantamiento Detallado. .....	118
<b>Figura 104.</b>	Curva Esfuerzo vs Deformación de la tapia Pisada.....	120
<b>Figura 105.</b>	Imagen para la escogencia del mortero de Pega, según la calidad del mortero usado.....	122
<b>Figura 106.</b>	Resistencia mínima de las unidades para muros de mampostería confinada. .....	122
<b>Figura 107.</b>	Dimensiones de la unidad de mampostería, ladrillo H-10 y H-15, respectivamente.....	123
<b>Figura 108.</b>	Resumen del cálculo de la resistencia a la compresión de la mampostería, usada en el modelamiento de las casas de Vélez.....	124
<b>Figura 109.</b>	Curva Esfuerzo vs Deformación de la mampostería.....	125
<b>Figura 110.</b>	Curva Esfuerzo vs Deformación del concreto, según formulación de Takeda. .....	126
<b>Figura 111.</b>	Comparación entre diferentes relaciones empíricas para tuberías frágiles.....	136
<b>Figura 112.</b>	Desarenador sobre la Quebrada el Batán.....	138
<b>Figura 113.</b>	Desarenador sobre la Quebrada Chintoca.....	138
<b>Figura 114.</b>	Represa sobre la Quebrada el Batán.....	139
<b>Figura 115.</b>	Desarenador sobre la Quebrada Pozo Verde.....	139
<b>Figura 116.</b>	Captación sobre la Quebrada la Peña.....	140
<b>Figura 117.</b>	Estación de Bombeo.....	141
<b>Figura 118.</b>	Caja de Llegada.....	142
<b>Figura 119.</b>	Canaleta Parshall.....	142
<b>Figura 120.</b>	Planta de Tratamiento.....	143
<b>Figura 121.</b>	Sedimentadores y Filtros.....	143
<b>Figura 122.</b>	Fuga sobre un tramo de la red secundaria.....	145
<b>Figura 123.</b>	Red de acueducto estudiada, área urbana de Vélez.....	154
<b>Figura 124.</b>	Red de alcantarillado estudiada, área urbana de Vélez.....	155
<b>Figura 125.</b>	Mapa de deformaciones máximas según modelamiento geotécnico del área urbana municipio de Vélez.....	156
<b>Figura 126.</b>	Mapa: deformaciones y red de acueducto. Ubicación del tramo T-398.....	157
<b>Figura 127.</b>	Curvas de fragilidad para el tramo T-398.....	159
<b>Figura 128.</b>	Vulnerabilidad de la red de acueducto (Plano U-31).....	160
<b>Figura 129.</b>	Vulnerabilidad de la red de alcantarillado (Plano U-32).....	161



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Datos de entrada.....	22
<b>Tabla 2.</b>	Usos de la edificación. ....	23
<b>Tabla 3.</b>	Características Generales de la edificación.....	23
<b>Tabla 4.</b>	Características Generales de la edificación – Cimentación. ....	24
<b>Tabla 5.</b>	Características Generales de la edificación - Muros de contención.....	24
<b>Tabla 6.</b>	Características Generales de la edificación – Sistema de drenaje de la edificación. 25	25
<b>Tabla 7.</b>	Características Generales de la edificación – Ubicación de la edificación. ....	25
<b>Tabla 8.</b>	Características Generales– Estado de conservación del entorno.....	26
<b>Tabla 9.</b>	Características Generales– Estado de conservación del entorno.....	27
<b>Tabla 10.</b>	Características Generales– Datos Numéricos. ....	27
<b>Tabla 11.</b>	Resumen de edificaciones encontradas en levantamiento general en la zona de estudio. 29	29
<b>Tabla 12.</b>	Porcentajes de Tipologías de Sistema estructural en la zona de estudio....	38
<b>Tabla 13.</b>	Listado de edificaciones de la muestra representativa de las tipologías de Sistema estructural analizadas en la zona de estudio.....	39
<b>Tabla 14.</b>	Valores de calidad y de importancia del modelo vulnerabilidad física.....	49
<b>Tabla 15.</b>	Valores de calidad y de importancia del modelo vulnerabilidad física (continuación).....	50
<b>Tabla 16.</b>	Valores de calidad y de importancia del modelo vulnerabilidad física (continuación).....	51
<b>Tabla 17.</b>	Valores de calidad y de importancia del modelo vulnerabilidad física (continuación).....	52
<b>Tabla 18.</b>	Resultados Índice de Vulnerabilidad.....	83
<b>Tabla 19.</b>	Clasificación de los grados de amenaza.....	86
<b>Tabla 20.</b>	Matriz de cruce de amenaza y vulnerabilidad para evaluación del riesgo. ..	86
<b>Tabla 21.</b>	Resultados Evaluación del Riesgo Zona urbana y Suburbana, Municipio de Vélez. 87	87
<b>Tabla 22.</b>	Subdivisión de las edificaciones en Riesgo Alto. ....	90
<b>Tabla 23.</b>	Caracterización de la tapia pisada. ....	119
<b>Tabla 24.</b>	Datos para crear la curva Esfuerzo vs Deformación de la tapia Pisada. ...	120
<b>Tabla 25.</b>	Datos para crear la curva Esfuerzo vs Deformación de la mampostería. ..	124
<b>Tabla 26.</b>	Caracterización del material Concreto para los modelos de Vélez.....	125
<b>Tabla 27.</b>	Datos automáticos creados por el SAP2000 para la curva Esfuerzo vs Deformación del concreto. ....	126
<b>Tabla 28.</b>	Matriz 1A. ....	128
<b>Tabla 29.</b>	Matriz 1B. ....	129
<b>Tabla 30.</b>	Matriz 2.....	130
<b>Tabla 31.</b>	Matriz 3.....	131
<b>Tabla 32.</b>	Matriz 4ª.....	131
<b>Tabla 33.</b>	Matriz 4B.....	132
<b>Tabla 34.</b>	Formato de Matriz de Vulnerabilidad Física o de Probabilidad de Daños. 132	132
<b>Tabla 35.</b>	Honegger & Eguchi (1992). ....	134



<b>Tabla 36.</b>	Eidinger & Avila (1999).....	134
<b>Tabla 37.</b>	ALA (2001).....	135
<b>Tabla 38.</b>	Terzi, Alexoudi & Hatzigogos (2007).....	135
<b>Tabla 39.</b>	Aspectos Operativos del Acueducto del Municipio de Vélez.....	147
<b>Tabla 40.</b>	Aspectos Operativos del Acueducto del Municipio de Vélez (continuación). 148	
<b>Tabla 41.</b>	Aspectos Administrativos de EMPREVEL.....	149
<b>Tabla 42.</b>	Aspectos físicos del acueducto.....	150
<b>Tabla 43.</b>	4A: Medidas (administrativas) de mitigación y emergencia.....	151
<b>Tabla 44.</b>	4B: Medidas (operativas) de mitigación y emergencia del acueducto.....	151
<b>Tabla 45.</b>	Aspectos Operativos del Alcantarillado del Municipio de Vélez.....	152
<b>Tabla 46.</b>	Aspectos físicos del alcantarillado.....	153
<b>Tabla 47.</b>	Medidas (operativas) de mitigación y emergencia del alcantarillado.....	153
<b>Tabla 48.</b>	Propiedades del tramo.....	158
<b>Tabla 49.</b>	Constantes para el cálculo de RR en el tramo.....	158
<b>Tabla 50.</b>	Probabilidad de que se presente al menos una falla en el tramo.....	158



## 1. INTRODUCCIÓN

La Universidad Industrial de Santander, en su calidad de entidad ejecutora del Convenio Interadministrativo No. 9677-04-1127-2013, cuyo objeto es presentar un estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, presenta a consideración del Municipio de Vélez, el Departamento de Santander y la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, el siguiente volumen de vulnerabilidad y riesgo de edificaciones y la vulnerabilidad en redes de acueducto y alcantarillado.

A continuación el lector encontrará una presentación de las metodologías analizadas para la evaluación de la vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa de edificaciones del área urbana y suburbana de Vélez y de las redes de acueducto y alcantarillado del área urbana de Vélez y los resultados de la aplicación de las mismas, estos incluyen una descripción de la composición y estado actual de los diferentes componentes y recomendaciones técnicas formuladas a partir de las flaquezas encontradas en los sistemas. Finalmente se presentan los planos de vulnerabilidad de edificaciones y las redes de distribución de agua potable y de recolección de aguas lluvias para que el lector pueda identificar de manera espacial los tramos más vulnerables según la metodología empleada, así mismo los resultados del riesgo en las edificaciones.

## 2. IDENTIFICACIÓN, RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN

La información requerida para el desarrollo del estudio de evaluación del riesgo ante la amenaza de movimientos en masa de la zona de estudio, se realizó en diferentes etapas siguiendo el proceso básico de evaluación de riesgos.

### 2.1. FUENTES DE INFORMACIÓN

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC (Apoyados con la subdirección de cartografía y el Banco Nacional de Imágenes)
- Unidad Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres – UNGRD
- Municipio de Vélez, el Departamento de Santander
- Instituto Nacional de Vías - INVIAS
- Servicio Geológico Colombiano - SGC (Anterior Ingeominas)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia-IDEAM.

### 2.2. LEVANTAMIENTO DE CAMPO DE EDIFICACIONES DE LA ZONA DE ESTUDIO

El proceso de levantamiento de información es una etapa previa de la que resulta la evaluación de la vulnerabilidad de la zona de estudio, ya que de los datos registrados dependerá la calidad de la tipificación de las edificaciones.

Inicialmente se asumió un esquema de trabajo que permitiera el registro de la información de la forma más acertada posible; el primer paso fue definir la unidad estructural a inventariarse, habiéndose seleccionándose el predio como unidad básica.

EL inventario o levantamiento de campo de las edificaciones se ejecutó en dos fases principales:

- **Levantamiento General**

El levantamiento general comprende el registro de todas las características generales de la totalidad de las edificaciones de la zona de estudio.

- **Levantamiento Detallado De Campo**

El levantamiento Detallado aplica a una muestra de edificaciones que comprenden los diferentes rangos de tipologías constructivas existentes en la zona de estudio.

### 3. LEVANTAMIENTO GENERAL DE CAMPO

El levantamiento general comprende la identificación y registro de todas las características generales de las diferentes áreas pertenecientes a la zona de estudio, para ello fue necesario realizar un serie de actividades previas; entre ellas están un levantamiento de imágenes georreferenciadas sobre las vías con un sistema de cámaras LadyBug y un receptor GNSS GR-5 que sirvieron como apoyo visual en oficina para realizar un primer inventario de viviendas con su respectiva localización y fotografía, (Anexo VI) además la elaboración del formato o formulario de levantamiento general de las edificaciones programación del levantamiento, conformación y capacitación de la comisión de campo.

#### 3.1. INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN - FORMULARIO DE INVENTARIO

Para el desarrollo del levantamiento, se elaboró inicialmente un formulario de inventario general, considerado como un instrumento fundamental en la recolección de la información de campo (figura 1).

Está constituido por ítems que facilitan el trabajo de campo, que se ejecuta desde el exterior del predio o edificación debido al número considerable a inventariar, al igual que la posible dificultad de acceso a algunas zonas o edificaciones.

El formulario consta de tres partes:

- Una primera parte que recopila la información de la ubicación e identificación de la unidad a inventariar.
- Una segunda parte que consta de 5 secciones que son: usos de la edificación, Características generales de la edificación, Edificaciones de Mampostería, Edificaciones de Hormigón y Edificaciones de Tapia pisada.
- Finalmente, a manera de información complementaria, la tercera parte del formulario cuenta con un espacio para realizar un registro gráfico o comentarios que se consideren pertinentes sobre el predio.

Cuenta con un instructivo de aplicación que establece los criterios bajo los cuales debe registrarse la información.

En los Anexos VIII-1 y VIII-2 se presenta, el formulario base utilizado para el registro de la información con su respectivo Instructivo.



### 3.2. CONFORMACIÓN DE LA COMISION DE CAMPO

El trabajo de campo o levantamiento general de la información lo realizó la comisión de campo, equipo conformado y previamente capacitado que recibió entrenamiento y preparación para el manejo de los instrumentos de recolección de la información (ver figura 2).

La capacitación de la comisión de campo se llevó a cabo en dos etapas; durante la primera etapa se realizó la unificación de criterios respecto a la identificación de las diferentes características de los predios, en particular lo referente al sistema estructural, materiales y su calidad, tipos de edificaciones y su actividad, entre otras. En la segunda etapa se programaron simulacros y posteriormente apoyados en una programación de actividades se dio inicio a la ejecución del trabajo.

**Figura 2.** Comisión de campo en zona de estudio.



Fuente: Registro fotográfico

### 3.3. EJECUCIÓN Y AVANCE DEL LEVANTAMIENTO

Después de definidos los sectores por inventariar se adelantó el proceso de toma de información de campo. La ejecución del levantamiento general se desarrolló edificación por edificación por medio de una visualización externa; la captura de la información general de las edificaciones se realizó cubriéndose la totalidad de la zona de estudio, con una duración de cinco meses de trabajo de campo, habiéndose inventariado un total de de 3574 predios.

En campo el proceso de levantamiento o registro de datos se realizó con un programa para dispositivos móviles en IOS y Android, que permitía la sincronización a través de internet. El formulario del aplicativo está constituido por las mismas variables contenidas en el Anexo VIII-1, y es así como toda la información registrada diariamente en los levantamientos fue almacenada en una base de datos centralizada.

La información registrada en el aplicativo del formulario de inventario se consolidó en una base de datos. En las tablas 1 a 10 se presenta una muestra de la información y registro fotográfico contenido en la base de datos, correspondiente a 10 edificaciones de la zona de estudio.

**Tabla 1.** Datos de entrada.

Datos de Entrada			
Identificación			Observaciones
No. De predios levantados	ID	Dirección	Comisión de Campo Equipo de Lev. General
2	71	CL 8#1-impar	Lote
6	94	CL 8#3-72	Colegio Pre-scolar Bthlemitas edificación no habitada por deterioro
9	97	KR 8#3-48	Sala de Belleza - Diafragma en madera
11	99	CL 8#3-22	Diafragma en madera
18	106	CL 8#2-30	Medicina legal
23	111	CL 8#1-par	Lote
42	166	CL 9#3-23	Hotel Intercontinental
43	167	CL 9#3-21	Emisora y calzado primavera
44	168	CL 9#3-17	Peluquería
45	169	CL 9#3-03	BBVA

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. Usos de la edificación.

Usos de la edificación								
ID	Residencial	Comercial	Industrial	Religión	Educación	Salud	Gobierno	Otro
71	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Lote( terreno urbano o rural sin edificar )
94	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Escuela-Colegio	No aplica	No aplica	No aplica
97	Morada permanente (con negocio)	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
99	Morada permanente (sin negocio)	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
106	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Servicios de respuesta de emergencias	No aplica
111	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Lote( terreno urbano o rural sin edificar )
166	Alojamiento temporal	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
167	No aplica	Negocio al detal	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
168	No aplica	Negocio al detal	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
169	No aplica	Servicio profesional, técnico, de negocios	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
171	Alojamiento temporal	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3. Características Generales de la edificación

Características Generales de la edificación								
ID	Material	Proceso Constructivo	Año de construcción	Geometría		Diafragma Horizontal	Tipo Cubierta	Tipo apoyo de tanque elevado
				Irregularidad en planta	Irregularidad en altura			
71	NO APLICA	Autoconstrucción	Antes de 1960	No existe irregularidad en Planta	No existe irregularidad en altura	Sin diafragma	No aplica	No se observa tanque elevado
94	Tapia o adobe	Autoconstrucción	Antes de 1960	No existe irregularidad en Planta	No existe irregularidad en altura	Sin diafragma	Pesada con teja de barro	No se observa tanque elevado
97	Tapia o adobe	Autoconstrucción	Antes de 1960	No existe irregularidad en Planta	Disminución de área de construcción en los pisos	Sin diafragma	Pesada con teja de barro	No se observa tanque elevado
99	Tapia o adobe	Autoconstrucción	Antes de 1960	No existe irregularidad en Planta	No existe irregularidad en altura	Sin diafragma	Pesada con teja de barro	No se observa tanque elevado
106	Mampostería de ladrillo o bloque	Autoconstrucción	Desde de 1984 a 1998	No existe irregularidad en Planta	No existe irregularidad en altura	Losa aligerada (Espesor mayor de 0,15m)	Losa de concreto	No se observa tanque elevado
111	NO APLICA	Autoconstrucción	Antes de 1960	No existe irregularidad en Planta	No existe irregularidad en altura	Sin diafragma	No aplica	No se observa tanque elevado
166	Tapia o adobe	Autoconstrucción	Antes de 1960	No existe irregularidad en Planta	No existe irregularidad en altura	Losa aligerada (Espesor mayor de 0,15m)	Liviana con teja eternit (asbesto cemento)	Se apoya en muros
167	Mampostería de ladrillo o bloque	Autoconstrucción	Desde de 1984 a 1998	No existe irregularidad en Planta	No existe irregularidad en altura	Losa aligerada (Espesor mayor de 0,15m)	Liviana con teja eternit (asbesto cemento)	Se apoya en muros
168	Tapia o adobe	Autoconstrucción	Antes de 1960	No existe irregularidad en Planta	No existe irregularidad en altura	Sin diafragma	Pesada con teja de barro	No se observa tanque elevado
169	Tapia o adobe	Autoconstrucción	Antes de 1960	No existe irregularidad en Planta	No existe irregularidad en altura	Sin diafragma	Pesada con teja de barro	No se observa tanque elevado

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.** Características Generales de la edificación – Cimentación.

Características Generales de la edificación												
ID	Cimentación											
	La cimentación esta ubicada en una misma cota	Diferencia máxima de las cotas de cimentación es inferior a 1 metro	Diferencia máxima de las cotas de cimentación es superior a 1 metro	La edificación presenta cimentación con zapatas sobre suelo firme	La edificación presenta cimentación con zapatas sobre suelo suelto	Los elementos de cimentación se encuentran debidamente enlazados	La edificación cuenta cimentación con pilotes	La cimentación presenta cimentación corrida sobre suelo firme	La cimentación presenta cimentación corrida sobre suelo suelto	La edificación se soporta en ladera por columnas esbeltas sobre suelo firme	La edificación se soporta en ladera por columnas esbeltas sobre suelo suelto	La edificación esta cimentada sobre la superficie del suelo
71	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
94	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
97	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
99	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
106	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
111	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
166	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
167	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
168	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
169	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 5.** Características Generales de la edificación - Muros de contención.

Características Generales de la edificación											
ID	Muros de contención										
	La edificación cuenta con un muro de contención	El muro esta cimentado sobre roca o suelo firme	El relleno cuenta con troncos, árboles, vegetación, escombros o rocas inestables	El muro esta cimentado sobre material flojo o mal compactado	Los muros cuentan con sistema de drenaje detrás de la pared o sistema de floradero	El diametro mínimo de los floraderos es de 2 pulgadas	El distanciamiento horizontal de los floraderos es mayor o igual a 1,5m	El distanciamiento vertical de los floraderos es mayor o igual a 1,5m	La distancia del nivel del suelo al primer floradero es menor o igual a 0,3m	El material de relleno es limpio y compactado adecuadamente	Tipo de muro
71	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO APLICA
94	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO APLICA
97	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO APLICA
99	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO APLICA
106	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO APLICA
111	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO APLICA
166	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO APLICA
167	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO APLICA
168	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO APLICA
169	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO APLICA

Fuente: Elaboración Propia



**Tabla 6.** Características Generales de la edificación – Sistema de drenaje de la edificación.

Características Generales de la edificación					
Sistema de drenaje de la edificación					
ID	Recolección de aguas lluvias	Sistema de alcantarillado	Drenajes Superficiales	Tanque de almacenamiento	Entorno
71	La edificación no cuenta con un sistema adecuado de canales para la recolección de aguas lluvias, sino que las entrega directamente al talud	Existe sistema de alcantarillado para aguas lluvias y aguas negras	Existen drenajes superficiales para las aguas de escorrentía y estas descargan a un sistema de alcantarillado	Los tanques de almacenamiento son herméticos y cimentados adecuadamente	Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén
94	La edificación no cuenta con un sistema adecuado de canales para la recolección de aguas lluvias, sino que las entrega directamente al talud	Existe sistema de alcantarillado para aguas lluvias y aguas negras	Existen drenajes superficiales para las aguas de escorrentía y estas descargan a un sistema de alcantarillado	Los tanques de almacenamiento son herméticos y cimentados adecuadamente	Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén
99	La edificación cuenta con un sistema adecuado de canales para la recolección de aguas lluvias	Existe sistema de alcantarillado para aguas lluvias y aguas negras	Existen drenajes superficiales para las aguas de escorrentía y estas descargan a un sistema de alcantarillado	Los tanques de almacenamiento son herméticos y cimentados adecuadamente	Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén
166	La edificación no cuenta con un sistema adecuado de canales para la recolección de aguas lluvias, sino que las entrega directamente al talud	Existe sistema de alcantarillado para aguas lluvias y aguas negras	Existen drenajes superficiales para las aguas de escorrentía y estas descargan a un sistema de alcantarillado	Los tanques de almacenamiento son herméticos y cimentados adecuadamente	Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén
167	La edificación cuenta con un sistema adecuado de canales para la recolección de aguas lluvias	Existe sistema de alcantarillado para aguas lluvias y aguas negras	Existen drenajes superficiales para las aguas de escorrentía y estas descargan a un sistema de alcantarillado	Los tanques de almacenamiento son herméticos y cimentados adecuadamente	Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén
168	La edificación no cuenta con un sistema adecuado de canales para la recolección de aguas lluvias, sino que las entrega directamente al talud	Existe sistema de alcantarillado para aguas lluvias y aguas negras	Existen drenajes superficiales para las aguas de escorrentía y estas descargan a un sistema de alcantarillado	Los tanques de almacenamiento son herméticos y cimentados adecuadamente	Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén
169	La edificación no cuenta con un sistema adecuado de canales para la recolección de aguas lluvias, sino que las entrega directamente al talud	Existe sistema de alcantarillado para aguas lluvias y aguas negras	Existen drenajes superficiales para las aguas de escorrentía y estas descargan a un sistema de alcantarillado	Los tanques de almacenamiento son herméticos y cimentados adecuadamente	Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 7.** Características Generales de la edificación – Ubicación de la edificación.

Características Generales de la edificación					
Ubicación de la edificación					
ID	Ubicación	Zona de Ubicación	Altura del talud	Pendiente del talud	Pendiente Fotografía aérea)
71	La edificación se encuentra sobre el talud	La edificación se encuentra sobre una zona en terraplén-relleno	La altura del talud es menor a 5m	La pendiente está entre 30° y 45°	Pendiente $\theta > 23.01^\circ$
94	La edificación se encuentra sobre el talud	La edificación se encuentra sobre una zona en terraplén-relleno	La altura del talud es mayor a 5m	NO APLICA	Pendiente entre $7.01^\circ < \theta < 12^\circ$
99	La edificación se encuentra sobre el talud	La edificación se encuentra sobre una zona en terraplén-relleno	La altura del talud es menor a 5m	NO APLICA	Pendiente entre $7.01^\circ < \theta < 12^\circ$
166	La edificación se encuentra sobre el talud	La edificación se encuentra sobre una zona en terraplén-relleno	La altura del talud es menor a 5m	NO APLICA	Pendiente entre $0^\circ < \theta < 7^\circ$
167	La edificación se encuentra sobre el talud	La edificación se encuentra sobre una zona en terraplén-relleno	La altura del talud es menor a 5m	NO APLICA	Pendiente entre $7.01^\circ < \theta < 12^\circ$
168	La edificación se encuentra sobre el talud	La edificación se encuentra sobre una zona en corte	La altura del talud es menor a 5m	NO APLICA	Pendiente entre $7.01^\circ < \theta < 12^\circ$
169	La edificación se encuentra sobre el talud	La edificación se encuentra sobre una zona en corte	La altura del talud es menor a 5m	NO APLICA	Pendiente entre $0^\circ < \theta < 7^\circ$

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 8.** Características Generales– Estado de conservación del entorno.

ID	Características Generales de la Edificación						
	Vegetación del sitio	Sistema de control de erosión	Estado de conservación del entorno				Manejo de basuras
			El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	Se perciben uniones rotas en el alcantarillado	Se observa presencia de escapes en tubos de suministro	Se observan filtraciones de agua en el suelo	
71	El contorno natural a sufrido una transformación importante	No se presentan problemas de erosión	El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	NO	NO	NO	Se cuenta con un sistema de recolección y manejo de basuras
94	El contorno natural a sufrido una transformación importante	No se presentan problemas de erosión	El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	NO	NO	NO	Se cuenta con un sistema de recolección y manejo de basuras
99	El contorno natural a sufrido una transformación importante	No se presentan problemas de erosión	El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	NO	NO	NO	Se cuenta con un sistema de recolección y manejo de basuras
166	El contorno natural a sufrido una transformación importante	No se presentan problemas de erosión	El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	NO	NO	NO	Se cuenta con un sistema de recolección y manejo de basuras
167	Se ha realizado una limpieza discriminada de la vegetación	No se presentan problemas de erosión	El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	NO	NO	NO	Se cuenta con un sistema de recolección y manejo de basuras
168	El contorno natural a sufrido una transformación importante	No se presentan problemas de erosión	El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	NO	NO	NO	Se cuenta con un sistema de recolección y manejo de basuras
169	El contorno natural a sufrido una transformación importante	No se presentan problemas de erosión	El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	NO	NO	NO	Se cuenta con un sistema de recolección y manejo de basuras

Fuente: Elaboración Propia



**Tabla 9.** Características Generales– Estado de conservación del entorno.

ID	Características Generales de la Edificación						
	Vegetación del sitio	Sistema de control de erosión	Estado de conservación del entorno				Manejo de basuras
			El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	Se perciben uniones rotas en el alcantarillado	Se observa presencia de escapes en tubos de suministro	Se observan filtraciones de agua en el suelo	
71	El contorno natural a sufrido una transformación importante	No se presentan problemas de erosión	El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	NO	NO	NO	Se cuenta con un sistema de recolección y manejo de basuras
94	El contorno natural a sufrido una transformación importante	No se presentan problemas de erosión	El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	NO	NO	NO	Se cuenta con un sistema de recolección y manejo de basuras
99	El contorno natural a sufrido una transformación importante	No se presentan problemas de erosión	El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	NO	NO	NO	Se cuenta con un sistema de recolección y manejo de basuras
166	El contorno natural a sufrido una transformación importante	No se presentan problemas de erosión	El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	NO	NO	NO	Se cuenta con un sistema de recolección y manejo de basuras
167	Se ha realizado una limpieza discriminada de la vegetación	No se presentan problemas de erosión	El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	NO	NO	NO	Se cuenta con un sistema de recolección y manejo de basuras
168	El contorno natural a sufrido una transformación importante	No se presentan problemas de erosión	El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	NO	NO	NO	Se cuenta con un sistema de recolección y manejo de basuras
169	El contorno natural a sufrido una transformación importante	No se presentan problemas de erosión	El sector cuenta con sistema de drenaje limpio	NO	NO	NO	Se cuenta con un sistema de recolección y manejo de basuras

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 10.** Características Generales– Datos Numéricos.

ID	Características Generales de la Edificación						
	Datos Numéricos						
	Altura promedio de piso (mts)	Número de pisos en fachada frontal	Número de pisos en fachada lateral	Altura del 1er piso (mts)	Longitud del frente (mts)	Distancia de aislamiento al pie del talud (mts)	Distancia de aislamiento a la corona del talud (mts)
71	0.00	0.00	0.00	0.00	53.00	0.00	0.00
94	4.00	1.00	1.00	4.00	14.00	0.00	0.00
99	3.00	2.00	2.00	3.00	12.00	0.00	0.00
166	3.70	2.00	2.00	3.50	3.00	0.00	0.00
167	2.50	2.00	2.00	2.50	4.00	0.00	0.00
168	5.00	1.00	1.00	5.00	2.00	0.00	0.00
169	5.00	1.00	1.00	5.00	13.00	0.00	0.00

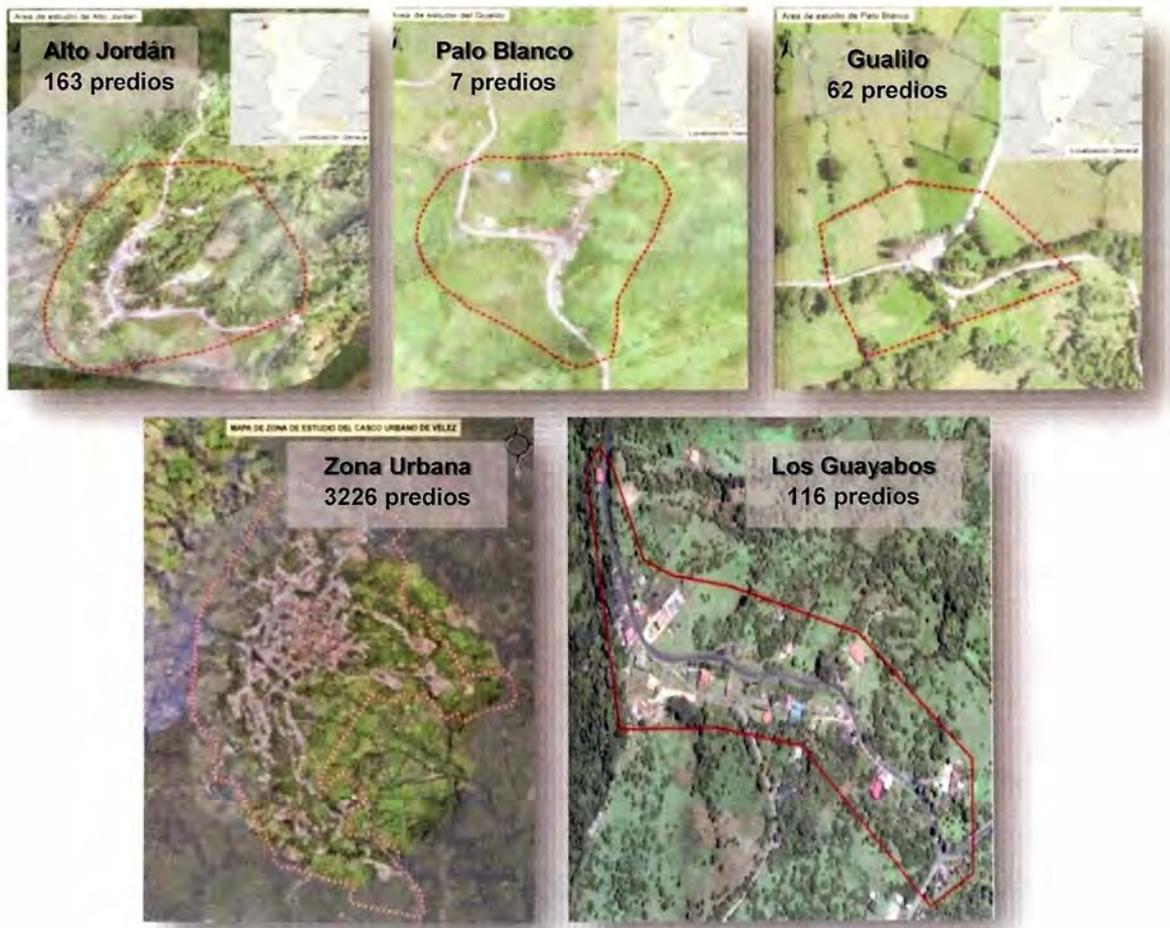
Fuente: Elaboración Propia

### 3.4. RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO GENERAL

#### 3.4.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

El levantamiento general de información de la zona de estudio comprendió un total de 3574 predios, permitiendo identificar de esta manera el sistema estructural existente en la el área urbana y de expansión urbana de Vélez, incluidos los centros poblados de Alto Jordán, Gualilo, Palo Blanco y Los Guayabos. En cada uno de ellos se identificó el porcentaje de edificaciones existentes en tapia, mampostería, y hormigón. En la tabla 11 se encuentra el número y porcentaje de edificaciones y su distribución en cada una de las áreas que comprenden la zona de estudio.

**Figura 3.** Resumen de edificaciones encontradas en Levantamiento general en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 11.** Resumen de edificaciones encontradas en levantamiento general en la zona de estudio.

Área de estudio		No. Edificaciones	Porcentaje
Área Suburbana	Alto Jordán	163	4.56%
	El Gualilo	62	1.73%
Área Suburbana	Palo Blanco	7	0.20%
	Los Guayabos	116	3.25%
Área urbana y expansión urbana	Casco Urbano	3226	90.26%
	<b>Total</b>	<b>3574</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2. ESTADÍSTICAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA

Con base a la información registrada durante el levantamiento general realizado en la zona de estudio comprendida por la zona urbana y de expansión urbana, y centro poblado Alto Jordán, bajo una observación externa de las diferentes áreas se obtuvieron las características generales que se describen a continuación.

#### 3.4.2.1. Materiales de construcción

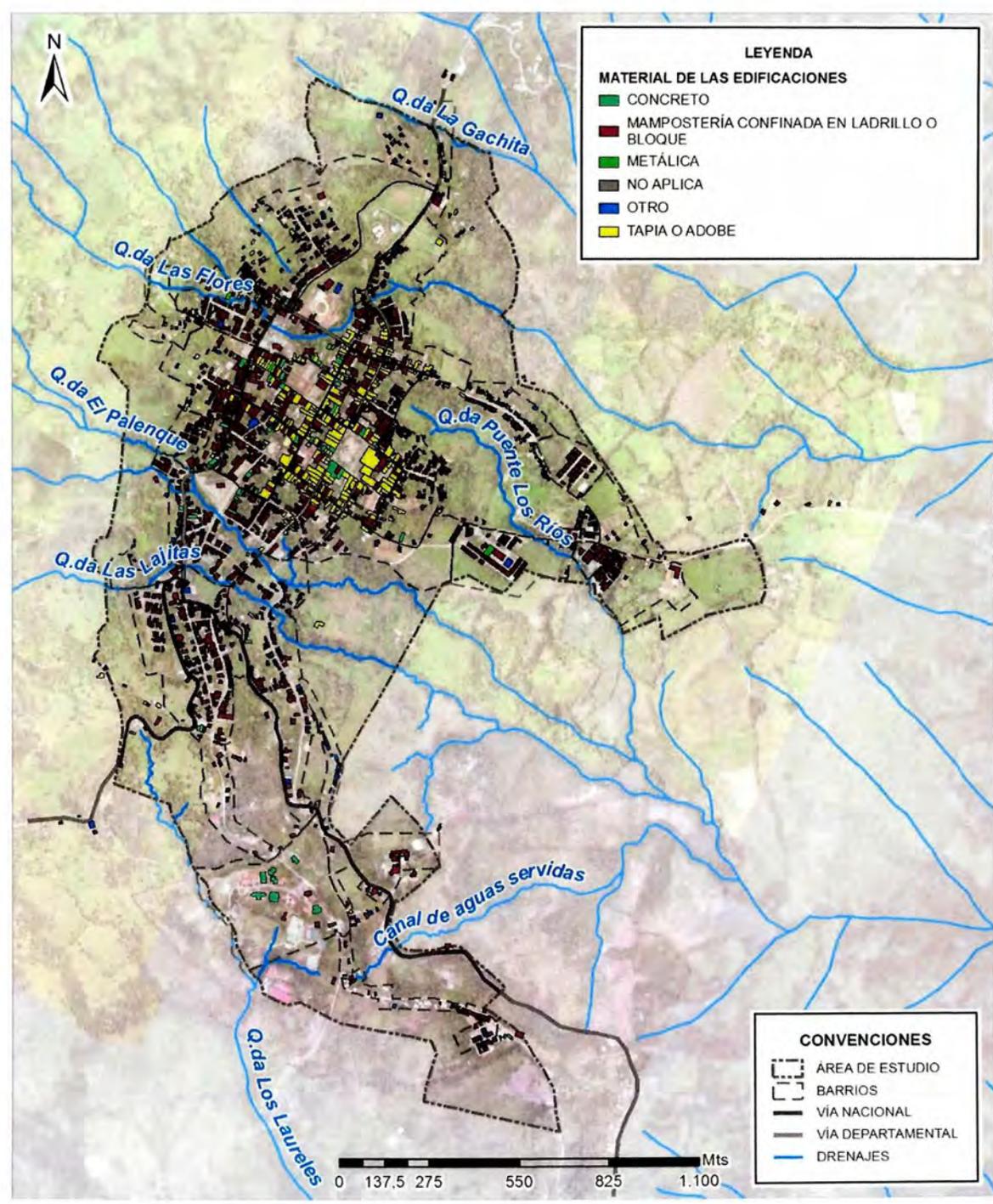
Se presenta una variedad de los tipos de materiales utilizados en los sistemas constructivos o tipologías, distribuidos de la siguiente manera: la gran mayoría de las edificaciones (76%), están construidas en mampostería; dada la antigüedad de la zona, el 10% es en tapia pisada y el 2% corresponde a edificaciones en concreto; igualmente existe un 5% que corresponden a edificaciones construidas en otro tipo de materiales como madera y el 7% corresponde a Lotes (ver figuras 4 y 5).

**Figura 4.** Características generales–Material



Fuente: Elaboración Propia

Figura 5. Mapa Características generales – material de las edificaciones de la zona de estudio (Plano U-29).

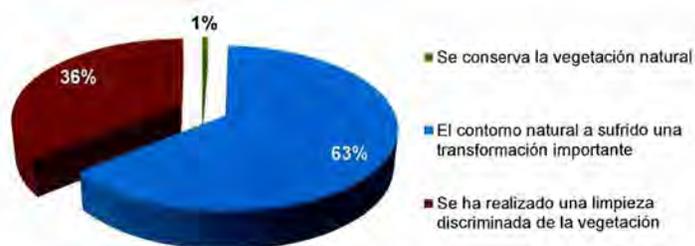


Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2.2. Vegetación del sitio

En el registro de la información referente a la vegetación del sitio donde se han construido las edificaciones o predios inventariados muestra que el 63% de las edificaciones están ubicadas en un sitio que han afrontado una transformación importante y se ha realizado una limpieza discriminada del sitio; en el 36% de las edificaciones se encuentra que el entorno natural ha sido objeto de una considerable transformación, y el 1% corresponde a edificaciones que han mantenido el entorno natural en lo posible (ver figura 6).

**Figura 6.** Características generales – Vegetación Del Sitio

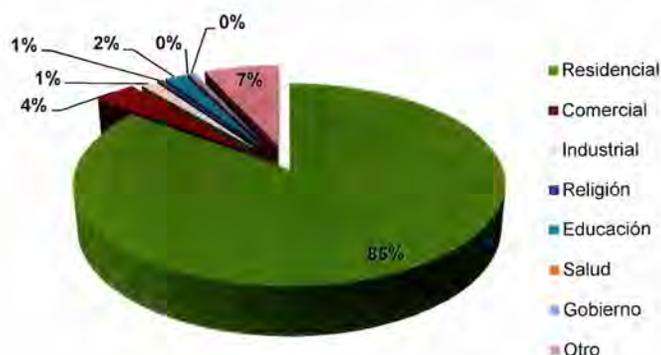


Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2.3. Uso de las edificaciones

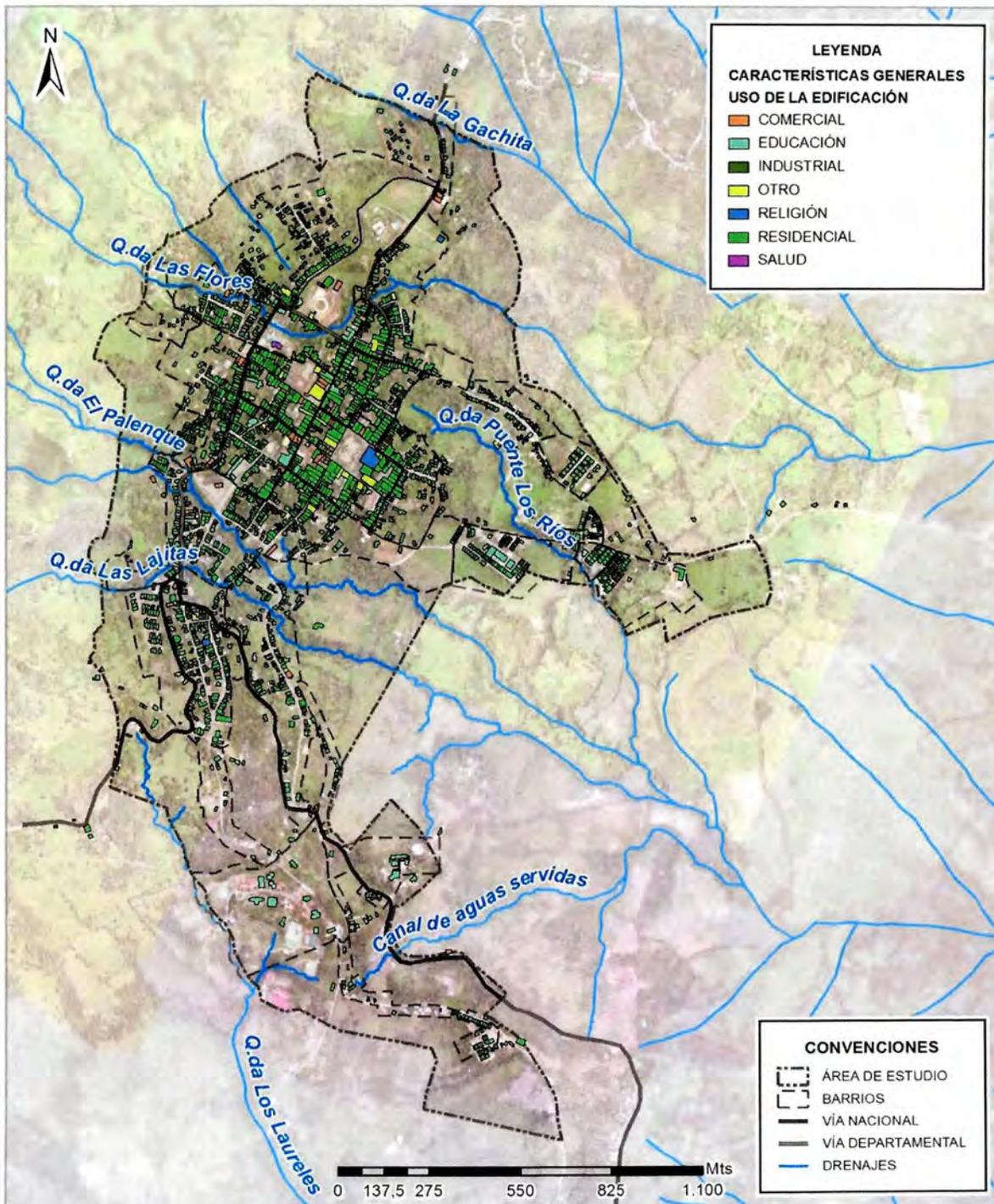
En la zona de estudio se presenta una variedad en cuanto al uso de las edificaciones; predomina un 68% de las edificaciones para vivienda permanente (sin negocio), es decir residencial; para vivienda permanente con presencia de pequeños negocios el equivalente a un 14%. El 7% corresponde a lotes y en menor cantidad un 4% de las edificaciones con uso comercial e industrial. El porcentaje restante está distribuido entre las instituciones educativas, centros religiosos o iglesias, sitios relacionados con la salud e instituciones gubernamentales (ver figuras 7 y 8).

**Figura 7.** Características generales – Uso De La Edificación



Fuente: Elaboración Propia

Figura 8. Mapa características generales – uso de la edificación de las edificaciones de la zona de estudio (Plano U-30).

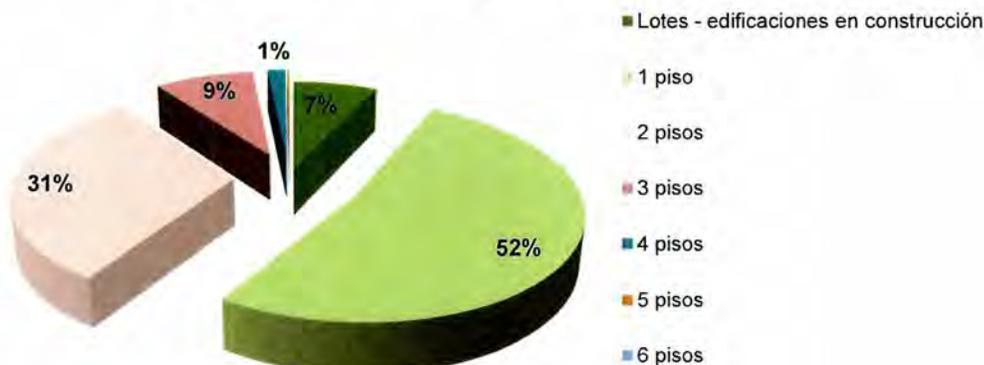


Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2.4. Número pisos

En la zona de estudio se encontró que predominan las edificaciones con un piso, equivalentes al 52% de la totalidad de los predios; el 31% cuenta con 2 pisos y en menores porcentajes se encuentran las edificaciones de 3,4, 5 y 6 pisos (figura 9).

Figura 9. Características generales – Número De Pisos.

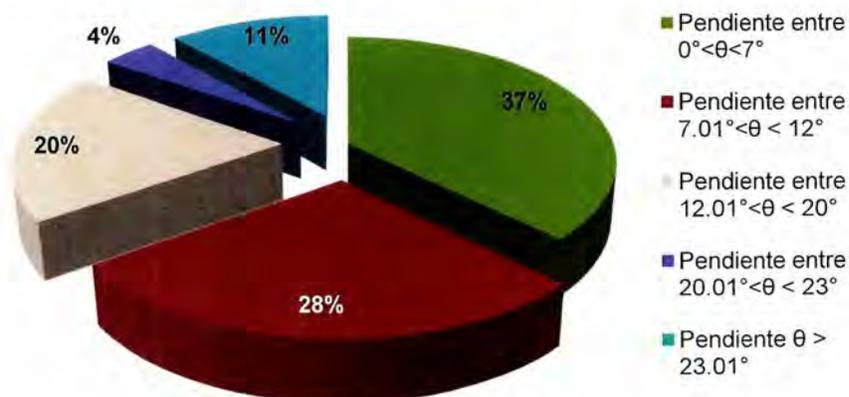


Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2.5. Pendiente del terreno

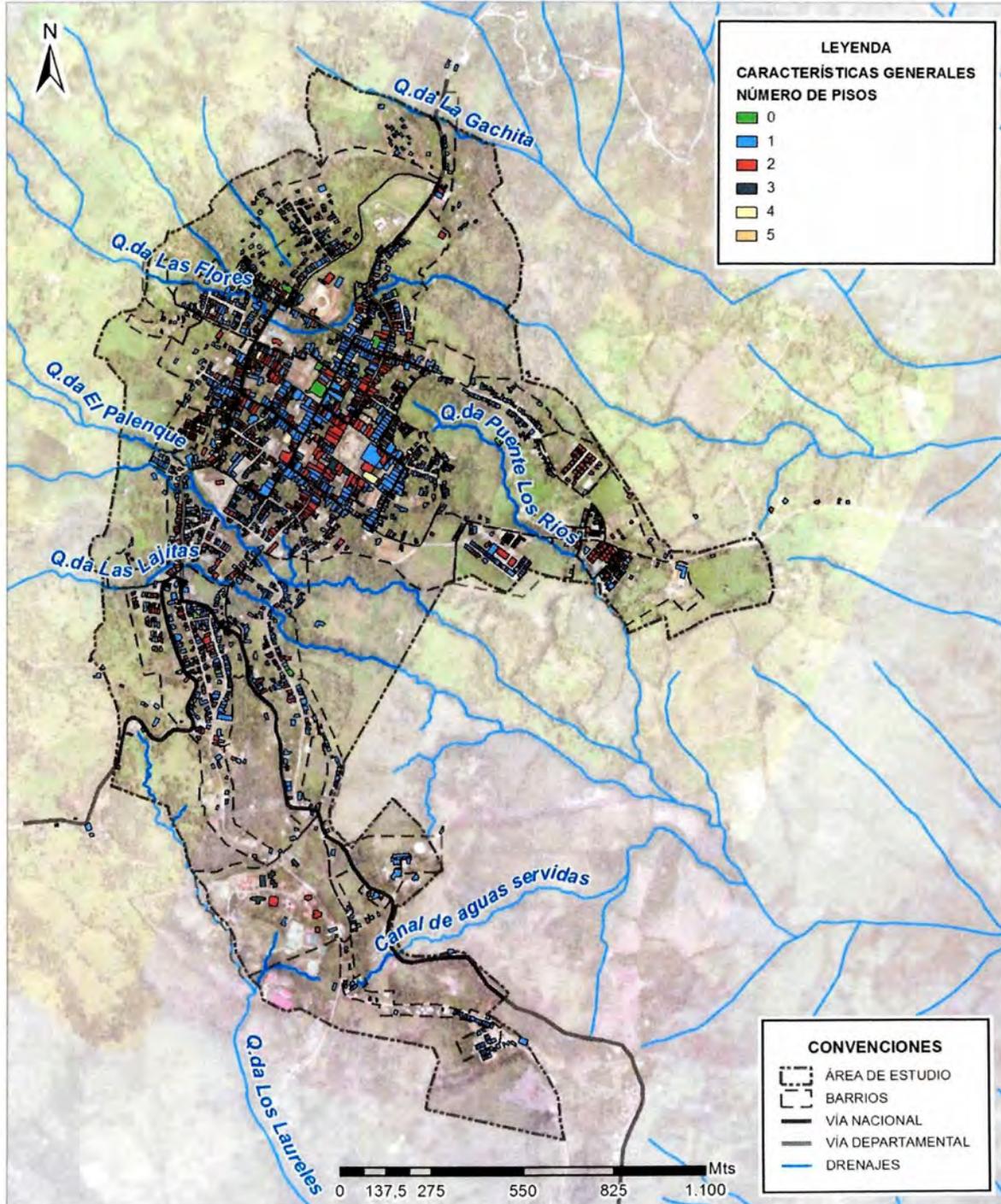
En su gran mayoría, las edificaciones o predios presentan una pendiente entre 0° y 12° en el 65% de los casos; el 20% de las edificaciones presentan pendientes entre 12° y 20° (ver figuras 10 y 11).

Figura 10. Características generales – Pendiente Del Terreno.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 11.** Mapa Características generales – Número De Pisos de las edificaciones de la zona de estudio (Plano U-28).

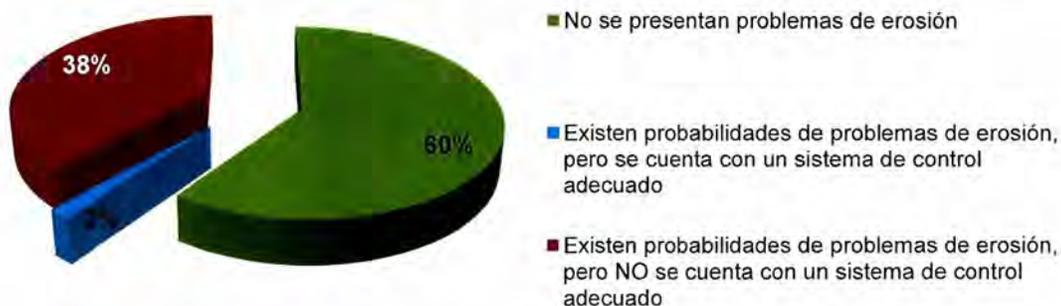


Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2.6. Sistema de control de la erosión

Con base a la información registrada en el levantamiento general de campo, se concluye que el 60% de la edificaciones no presentan aparentes problemas de erosión, el 38.5% de las edificaciones presentan probabilidades de problemas de erosión, pero no se cuenta con un sistema de control adecuado (ver figura 12).

**Figura 12.** Características generales – Sistema de control de erosión



Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2.7. Ubicación respecto del Talud

**Figura 13.** Características generales – Ubicación respecto del talud



Fuente: Elaboración Propia



## 4. LEVANTAMIENTO DETALLADO DE CAMPO

El levantamiento detallado de campo permite estimar los posibles daños en las edificaciones tipo debido a algún fenómeno de remoción en masa; para ello fue necesario identificar los elementos estructurales y no estructurales que conforman las edificaciones así como su entorno.

Para determinar dichas características típicas de las construcciones, se realizó el levantamiento a una muestra representativa de las edificaciones presentes en la zona de estudio.

### 4.1. TIPIFICACIÓN DE LAS EDIFICACIONES

Inicialmente se agruparon las edificaciones existentes en edificaciones tipo, logrando de esta manera la tipificación de las edificaciones encontradas en la zona de estudio.

Las edificaciones típicas identificadas en la zona de estudio, (ver figura 14) son las siguientes:

- **Edificaciones en Mampostería en adobe o Tapia pisada**

Construcciones de Mampostería en Adobe o Tapia pisada. Son edificaciones antiguas con un porcentaje considerable en la zona de estudio, el sistema estructural es básicamente de muros de carga.

- **Edificaciones en Mampostería confinada en ladrillo o bloque.**

Edificaciones construidas utilizando muros de mampostería que se encuentran rodeados con elementos de concreto reforzados y que actúan monolíticamente.

- **Edificaciones en Hormigón**

Sistema estructural conformado por vigas y columnas de concreto reforzado, muros de concreto reforzado o sistema dual.

**Figura 14.** Tipologías de sistema estructural encontradas y analizadas en la zona de estudio.

Tipologías analizadas	Resgistro fotográfico
<p>Edificaciones en Mampostería en adobe o Tapia pisada</p>	
<p>Edificaciones en Mampostería Confinada en ladrillo o bloque</p>	
<p>Edificaciones en Hormigón</p>	

Fuente: Elaboración Propia



En el levantamiento general se registró la siguiente información respecto a las tipologías analizadas (ver tabla 12). Es de considerar que el 12% de las edificaciones o predios cuentan con sistemas estructurales no clasificados dentro de la tipología analizada; corresponde a casos como viviendas precarias construidas con materiales rústicos o de desecho y lotes entre otros.

**Tabla 12.** Porcentajes de Tipologías de Sistema estructural en la zona de estudio.

Tipología analizada	No. Edificaciones	Porcentaje
<b>Edificaciones en Mampostería en adobe o Tapia pisada</b>	352	9.85%
<b>Edificaciones en Mampostería Confinada en ladrillo o bloque</b>	2692	75.32%
<b>Edificaciones en Hormigón</b>	79	2.21%
El 12% de las edificaciones o predios de la zona de estudio cuentan con sistemas estructurales no clasificados dentro de la tipología analizada, o viviendas precarias elaboradas en materiales rústicos de desechos, lotes entre otros.		12.62%

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2. MUESTRA REPRESENTATIVA DE LA TIPIFICACIÓN DE LAS EDIFICACIONES

Teniendo en cuenta los porcentajes de cada una de las tipologías predominantes de sistema estructural, se seleccionó una muestra aleatoria que contiene las edificaciones representativas de la zona de estudio. En la tabla 13 se muestra la selección de 75 edificaciones programadas para realizar el levantamiento detallado que permitiera conocer aspectos de configuración estructural y características ingenieriles específicas. Su ubicación se indica en la figura 15.

**Tabla 13.** Listado de edificaciones de la muestra representativa de las tipologías de Sistema estructural analizadas en la zona de estudio.

#	ID	Barrio	Sistema Constructivo / Lev. General
2	2096	America de Indias	Mampostería de ladrillo o bloque
	2110	America de Indias	Mampostería de ladrillo o bloque
2	191	Aquileo Parra	Tapia o adobe
	1076	Aquileo Parra	Mampostería de ladrillo o bloque
1	2157	Arrayanes	Mampostería de ladrillo o bloque
	97	Centro	Tapia o adobe
	103	Centro	Mampostería de ladrillo o bloque
	221	Centro	Concreto
7	750	Centro	Tapia o adobe
	1444	Centro	Mampostería de ladrillo o bloque
	1448	Centro	Tapia o adobe
	1450	Centro	Mampostería de ladrillo o bloque
1	2614	Francisco Benavides	Mampostería de ladrillo o bloque
2	1320	Jose Antonio Galan	Tapia o adobe
	2826	Jose Antonio Galan	Concreto
2	1178	Kennedy	Mampostería de ladrillo o bloque
	2501	Kennedy	Mampostería de ladrillo o bloque
7	651	La Esperanza	Mampostería de ladrillo o bloque
	1064	La Esperanza	Concreto
	1106	La Esperanza	Mampostería de ladrillo o bloque
	1122	La Esperanza	Mampostería de ladrillo o bloque
	2535	La Esperanza	Mampostería de ladrillo o bloque
	2950	La Esperanza	Concreto
	2987	La Esperanza	Mampostería de ladrillo o bloque
3	270	La Feria	Mampostería de ladrillo o bloque
	531	La Feria	Tapia o adobe
	1398	La Feria	Tapia o adobe
1	667	La Gachita	Mampostería de ladrillo o bloque
1	641	La Portada	Mampostería de ladrillo o bloque
1	486	La Rosita	Mampostería de ladrillo o bloque
2	451	Las Cuadras	Mampostería de ladrillo o bloque
	1560	Las Cuadras	Concreto
6	286	Las Nieves	Mampostería de ladrillo o bloque
	518	Las Nieves	Mampostería de ladrillo o bloque
	526	Las Nieves	Mampostería de ladrillo o bloque
	774	Las Nieves	Mampostería de ladrillo o bloque
	1244	Las Nieves	Tapia o adobe
1	1697	Las Nieves	Mampostería de ladrillo o bloque
1	1868	Los Cerezos	Mampostería de ladrillo o bloque
3	38	Martin Galeano	Mampostería de ladrillo o bloque
	152	Martin Galeano	Tapia o adobe
	1290	Martin Galeano	Mampostería de ladrillo o bloque

#	ID	Barrio	Sistema Constructivo / Lev. General
1	2580	Pablo Sexto	Mampostería de ladrillo o bloque
	7	Palenque	Mampostería de ladrillo o bloque
8	62	Palenque	Tapia o adobe
	812	Palenque	Tapia o adobe
	1329	Palenque	Mampostería de ladrillo o bloque
	1477	Palenque	Mampostería de ladrillo o bloque
	1480	Palenque	Concreto
	1714	Palenque	Mampostería de ladrillo o bloque
	1992	Palenque	Mampostería de ladrillo o bloque
2	504	Palmira	Mampostería de ladrillo o bloque
	565	Palmira	Mampostería de ladrillo o bloque
2	364	Reino Unido	Mampostería de ladrillo o bloque
	2119	Reino Unido	Mampostería de ladrillo o bloque
5	1660	Ricaurte	Mampostería de ladrillo o bloque
	1674	Ricaurte	Mampostería de ladrillo o bloque
	1731	Ricaurte	Mampostería de ladrillo o bloque
	2199	Ricaurte	Mampostería de ladrillo o bloque
	3113	Ricaurte	Tapia o adobe
1	3173	San Andresito	Mampostería de ladrillo o bloque
	409	San Luis	Tapia o adobe
3	757	San Luis	Mampostería de ladrillo o bloque
	1386	San Luis	Mampostería de ladrillo o bloque
5	994	Santa Teresita	Concreto
	1920	Santa Teresita	Mampostería de ladrillo o bloque
	1932	Santa Teresita	Mampostería de ladrillo o bloque
	1956	Santa Teresita	Mampostería de ladrillo o bloque
	1961	Santa Teresita	Tapia o adobe
	306	Santander	Mampostería de ladrillo o bloque
	325	Santander	Mampostería de ladrillo o bloque
4	335	Santander	Tapia o adobe
	1223	Santander	Mampostería de ladrillo o bloque
1	2543	Villa del Bosque	Mampostería de ladrillo o bloque
1	2035	Chapinero	Mampostería de ladrillo o bloque
	3035	La Esperanza	Tapia o adobe
1	3282	Sagrada Familia	Mampostería de ladrillo o bloque
1	3298	Los Durazos	Mampostería de ladrillo o bloque

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 15.** Ubicación edificaciones de la muestra representativa de las tipologías de Sistema estructural analizadas en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración Propia



### 4.3. CONFORMACIÓN DE LA COMISIÓN DE CAMPO

El trabajo de campo o levantamiento detallado lo realizó la comisión de campo, equipo conformado y previamente capacitado que recibió entrenamiento y preparación para el manejo de los instrumentos de recolección de la información.

### 4.4. INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN - FORMULARIO PARA LA EVALUACIÓN DE LAS EDIFICACIONES

El formulario de Levantamiento Detallado permite conocer las características de las edificaciones de la muestra representativa en los aspectos de su configuración estructural y características ingenieriles.

Está constituido por ítems que facilitan el trabajo de campo en el que se registraron datos tales como: Tipo de edificación, Calidad del sistema resistente, Ubicación de la edificación, Existencia de muros de contención, Tipo y posición de la cimentación, Tipo de suelo, Vegetación del sitio, Características de los muros de contención, Sistema de drenaje, Manejo de basuras, Sistemas de control de erosión, Año de construcción, Estado de conservación de la edificación y del entorno, Registro fotográfico y observaciones adicionales.

En los Anexos VIII-3, VIII-4, VIII-5 se presenta, el formulario base utilizado para el registro de la información para las edificaciones en Mampostería, Hormigón, o Tapia Pisada (ver figura 16).

Figura 16. Formulario Tipo de Levantamiento Detallado de información, Municipio de Vélez.

**ESTUDIO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ, DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

**LEVANTAMIENTO DETALLADO**  
Formulario para Evaluación de Edificaciones EDIFICACIONES EN MAMPOSTERÍA

---

**NOMBRE DEL ENCUESTADOR:** \_\_\_\_\_  
**FECHA:** \_\_\_\_\_

**ID:** \_\_\_\_\_ **SECTOR:** \_\_\_\_\_  
**BARRIO:** \_\_\_\_\_ **DIRECCIÓN:** \_\_\_\_\_

**I. TIPO DE EDIFICACIÓN** MARGUE X

A. Mampostería confinada en todos las plantas.	
B. Mampostería reforzada en todos las plantas.	
C. Vigas y columnas de confinamiento pero no en todas las plantas.	
D. Mampostería que sólo posee vigas sin columnas o sólo cuenta con columnas sin vigas.	
E. Mampostería que no posee vigas y columnas en ninguna de las plantas.	
F. Mampostería que no posee confinamiento en el último piso.	

**II. CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE** MARGUE X

A. Mampostería de buena calidad, con piezas homogéneas y presencia de buen ligamiento.	
B. Mampostería de buena calidad, con piezas no muy homogéneas y bien ligadas.	
C. Mampostería de mala calidad con piezas homogéneas e no muy homogéneas y que se encuentran bien ligadas.	
D. Mampostería de buena a mala calidad, con piezas no homogéneas o mal ligadas.	

**UBICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN EN EL TALUD**

**LA EDIFICACIÓN SE ENCUENTRA** MARGUE X

1. Arriba de la corona del talud.	
2. Sobre el talud.	
3. Abajo del pie del talud.	

**LA ALTURA DEL TALUD DONDE SE ENCUENTRA LA EDIFICACIÓN ES:** MARGUE X

1. Menor a 5.0 metros.	
2. Igual a 5.0 metros.	
3. Mayor a 5.0 metros.	

**PENDIENTE DEL TALUD** MARGUE X

1. Mayor de 45°.	
2. Entre 30° y 45°.	
3. Menor de 30°.	

**DISTANCIA TOMADA DESDE EL BORDE DEL TALUD** VALOR

1. Si la edificación está ubicada abajo del pie del talud (m).	
2. Si la edificación está ubicada arriba de la corona del talud (m).	

**favorable** MARGUE X

Puede medirse fácilmente y o más compactado, f con un sistema de agua.	
Pisos, adoños, juntas, estorninos de	

**MARGUE X**

**VALOR**


En la parte Livianos en Alnos de

**MARGUE X**

las condiciones favorables.

mediciones desfavorables.

**MARGUE X**

**favorable** MARGUE X

Trío con un sistema de con de agua para uno frente a talud.	
4 de acurbiado para regar, esta se ennegre superficies para las	
aparcamiento no son ni están cerrados	

**MARGUE X**

**VALOR**


**estorninos de** MARGUE X

ordenado mediacamente, f con un sistema de a para	
de bencos, seores, metados, estorninos de	

**MARGUE X**

**VALOR**


no en la parte Livianos en Alnos de

**MARGUE X**

AD las condiciones favorables.

condiciones desfavorables.

**MARGUE X**

**estorninos de** MARGUE X

cuenta con un sistema de rector de agua para uno echamente a talud	
una de acurbiado para la regar, esta se ennegre las superficies para las	
aparcamiento no son ni están cerrados	

**MARGUE X**

**VALOR**


Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5. EJECUCIÓN Y AVANCE DEL LEVANTAMIENTO

El levantamiento detallado se ejecutó en cada una de las edificaciones de la muestra representativa de la zona de estudio, basado en la metodología propuesta para la evaluación de la vulnerabilidad. Se iniciaron actividades el 30 de Julio de 2014, ejecutándose paralelamente con el levantamiento general; la totalidad de la muestra de 75 edificaciones se concluyó el 26 de Noviembre de 2014 (ver figura 17).

**Figura 17.** Muestra del Registro fotográfico Levantamiento Detallado de información, Municipio de Vélez



Fuente: Elaboración Propia



## 5. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

El presente estudio se basa en una metodología que constituye una descripción de la información necesaria para la obtención de una expresión cuantitativa de la vulnerabilidad de las edificaciones a fenómenos de remoción en masa denominada "Índice de Vulnerabilidad". Ésta se basa en la identificación de un número de parámetros, considerados como los más relevantes e influyentes en el daño que podría sufrir una edificación bajo la acción de efectos por fenómenos de remoción en masa.

### 5.1. MODELO PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD FÍSICA

La vulnerabilidad se define cuantitativamente como la susceptibilidad de los elementos vulnerables a afrontar daños debido a los efectos de los fenómenos de remoción en masa.

La vulnerabilidad está expresada en una escala de 0 (nada vulnerable) a 1 (absolutamente vulnerable); es llamado "Física", ya que se refiere a las edificaciones mientras que la vulnerabilidad social hace relación a las personas y los aspectos económicos. Fell (1994) y Phoon (2004) realizaron una discusión detallada de la perspectiva en el análisis de la vulnerabilidad física y social.

El modelo propuesto se basa en la estimación de un índice de vulnerabilidad total (IVT) el cual es la contribución de cuatro estimativos de índices de vulnerabilidad parciales; uno asociado a los aspectos directos (IVED), otro a los estructurales indirectos (IVEI), otro a las características de localización de las edificaciones (IVL) y finalmente el asociado a los aspectos del entorno (IVE). Cada uno de ellos se encuentra en un rango de 0 (nada vulnerable) a 1 (absolutamente vulnerable). En la figura 18 se presenta un esquema del modelo propuesto.

Figura 18. Esquema del modelo propuesto.

	Estructural Directo	Estructural Indirecto	Ubicación	Entorno
1 Sistema estructural,				
2 Calidad del sistema resistente,				
3 Resistencia estructural				
4 Configuración en altura,				
5 Ubicación de la edificación,				
6 Posición de la cimentación,				
7 Tipo de cimentación,				
8 Tipo de suelo,				
9 Vegetación del sitio,				
10 Muros de contención,				
11 Sistema de drenajes,				
12 Manejo de basuras,				
13 Estado de conservación del entorno,				
14 Estado de conservación de la edificación.				
NUMERO TOTAL DE PARÁMETROS	3	4	3	4

Fuente: Elaboración Propia

Cada índice se estima a partir de las calificaciones de las diferentes condiciones de calidad de los parámetros seleccionados,  $K_i$  (A, B, C y D) y los valores de importancia de cada uno de los parámetros dentro de la determinación de la vulnerabilidad sísmica total de la edificación,  $W_i$ , los cuales se representan a partir de números difusos dada la ambigüedad en su definición (Zadeh, 1965; Chakroborty y Kikuchi, 1990; Chao y Ayyub, 1995; Maldonado 2000b y 2000c). La aritmética difusa (Bandemer y Gottwald, 1995; Tee et. al., 1988) se emplea para relacionar las calificaciones de cada parámetro y sus respectivos valores de importancia. El método propuesto de combinación de varias piezas de información difusas, con desigual importancia o pesos, es un factorial y es el que se utiliza para calcular el índice de vulnerabilidad de viviendas, expresándosele como:

$$I.V. = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \xi_i)$$

$$\xi_i = K_i W_i \quad (6.1)$$

Donde I.V. es el índice de vulnerabilidad;  $\xi_i$  es el del Factor de Vulnerabilidad (cada uno definido en el rango de [0, 1]);  $K_i$  es el grado de vulnerabilidad de la categoría del parámetro  $i$ ;  $W_i$  es una medida de la importancia asociada al parámetro  $i$  respecto a los demás parámetros y  $n$  es el número de parámetros del modelo.

De esta forma cada uno de los índices se determinara de la siguiente manera:

- **IV<sub>ED</sub> = Índice de vulnerabilidad estructural directa**

$$I.V_{ED} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \xi_i) \quad (6.2)$$

Los parámetros que están asociados a este índice son los correspondientes al sistema estructural, a la calidad y a la resistencia estructural.

- **IV<sub>EI</sub> = Índice de vulnerabilidad estructural indirecta**

$$I.V_{EI} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \xi_i) \quad (6.3)$$

En este índice entran los parámetros asociados con configuración en altura, tipo de cimentación, muros de contención y estado de conservación.

- **IV<sub>L</sub> = Índice de vulnerabilidad por localización**

$$I.V_L = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \xi_i) \quad (6.4)$$

En este índice se consideraron los parámetros asociados a la localización, al nivel de cimentación y tipo de suelo donde se encuentre la edificación.

- **IV<sub>E</sub> = Índice de vulnerabilidad por entorno**



$$IV_E = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \xi_i) \quad (6.5)$$

En este índice se consideran los parámetros que formar parte del entorno de la edificación y que están directamente relacionados con ella y cuya afectación pueden alterar su vulnerabilidad. Los parámetros asociados a este grupo son la vegetación del sitio, sistema de drenaje, manejo de basuras y conservación del entorno.

- **IVT= Índice de vulnerabilidad total**

Para la estimación del índice de vulnerabilidad total se tomó el aporte de los anteriores índices, de la siguiente manera:

- Escogerse el mayor valor entre los índices de vulnerabilidad estructural directa IVED y el índice correspondiente a la ubicación, IVL.
- Se tomaron los índices de vulnerabilidad restantes y se sacó el promedio de ellos.
- Finalmente el índice de vulnerabilidad total corresponde a:

$$IV_T = IV_{EDoL} \left[ 1 + 0,2 \frac{(IV_{EI} + IV_E)}{2} \right] \quad (6.6)$$

### 5.1.1. ALGORITMO PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

El cálculo de cada uno de los índices de vulnerabilidad incluyendo el total, se realizó mediante la utilización de conjuntos difusos. Cada uno de los valores de vulnerabilidad de las condiciones de calidad de los parámetros ( $k_i$ ), al igual que los valores de importancia ( $W_i$ ), fueron representados mediante números difusos; a su vez, las operaciones de los índices fueron realizadas mediante operaciones difusas. De esta manera, el procedimiento desarrollado fue:

- Translación de las variables de calificación de cada una de las condiciones de calidad de los catorce parámetros a conjuntos difusos, mediante la definición de las correspondientes funciones de pertenencia.
- Conversión de las variables de importancia de cada parámetro a conjuntos difusos mediante las funciones de pertenencia.
- Combinación de las variables de calificación y las variables de importancia difusas para obtener los conjuntos difusos que representen los índices de vulnerabilidad. Esta combinación da como resultado los conjuntos difusos llamados *índice de vulnerabilidad estructural indirecta*, *estructural directa*, *de ubicación*, *de entorno* e *índice de vulnerabilidad total*.
- Transformación del conjunto difuso resultante, *índice de vulnerabilidad total* a una expresión lingüística como muy baja, baja, media, alta y muy alta vulnerabilidad. La

transformación de un conjunto difuso a una expresión lingüística natural es un proceso relativamente simple, el cual involucró la determinación de la distancia del conjunto difuso resultante a cada uno de los conjuntos difusos que representan las expresiones lingüísticas citadas. La mínima distancia entre el conjunto difuso resultante y los conjuntos difusos que representan las variables lingüísticas; es la expresión lingüística a la que se le asocia el índice de vulnerabilidad.

- Asociación a la variable lingüística del índice de vulnerabilidad calculado de un valor numérico no difuso. Esto se realizó escogiendo como valor numérico el centro de gravedad de la función de pertenencia resultante de la ecuación 6.6.

### 5.1.2. VARIABLES LINGÜÍSTICAS UTILIZADAS

En la definición de los grados de vulnerabilidad de los parámetros del modelo y de los valores de importancia a partir de números difusos, fue necesario definir adecuadamente las variables lingüísticas para describir los diferentes grados de vulnerabilidad y valores de importancia.

Estas variables lingüísticas fueron utilizadas para calificar cada una de las condiciones de calidad impuestas a cada parámetro, para definir el peso de cada parámetro dentro de la estimación de la vulnerabilidad total de la estructura. Así pues, las variables lingüísticas naturales seleccionadas para calificar los grados de vulnerabilidad fueron nada, poco, medianamente, muy y absolutamente vulnerable.

Cada una de estas variables requiere de la asignación de un valor numérico, que se escoge arbitrariamente en una escala comprendida entre 0 y 1. Los valores numéricos asignados a cada variable para la recopilación de la información de los expertos fueron:

- 0 Nada vulnerable
- 0,3 Poco vulnerable
- 0,5 Medianamente vulnerable
- 0,7 Muy vulnerable
- 1 Absolutamente vulnerable

En esta investigación, los conjuntos difusos que representan las variables relativas al grado de vulnerabilidad, se asumen como:

- **Nada** = {1|0 , 0|0.3}
- **Poco** = {0|0 , 1|0.3 , 0|0.5}
- **Medianamente** = {0|0.3 , 1|0.5 , 0|0.7}
- **Muy** = {0|0.5 , 1|0.7 , 0|1}
- **Absolutamente**= {0|0.7 , 1|1 }

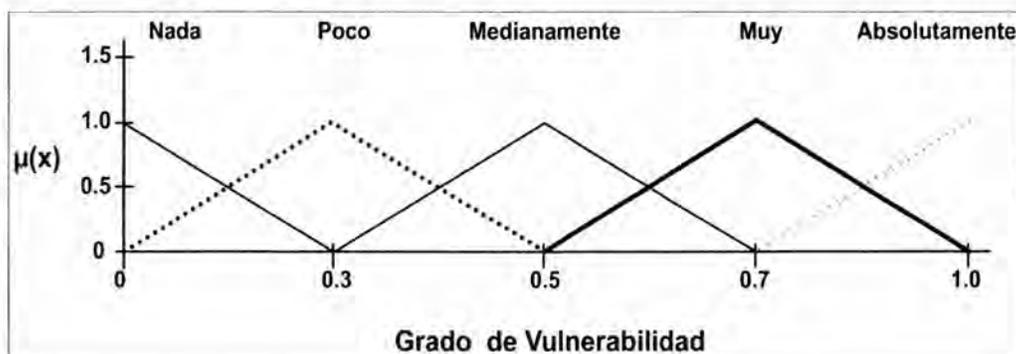
Siendo de la forma:

$$y = \{ \mu(x) | x \} \quad (5.7)$$

Donde  $\mu(x)$  denota el grado de pertenencia de  $x$ , definiendo  $x$  como el universo de la vulnerabilidad de la edificación en los conjuntos difusos.

La representación gráfica de las funciones de pertenencia de las variables lingüísticas utilizadas en este estudio se muestra en la figura 19.

**Figura 19.** Funciones de pertenencia de las variables lingüísticas nada, poco, medianamente, Muy y absolutamente vulnerable.



Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.3. VALORES DE CALIDAD Y DE IMPORTANCIA DEL MODELO

En las tablas 14 a 17 se presentan los valores de calidad e importancia de cada uno de los parámetros y sus diferentes categorías (A,B,C,D,E).



Tabla 14. Valores de calidad y de importancia del modelo vulnerabilidad física.

PARAMETROS		CATEGORIAS		Ki	Wi	
1	SISTEMA ESTRUCTURAL	MAMPOSTERIA	A 0	Edificación en mampostería confinada en todas las plantas.	Nada	MUY
			B 0	Edificación en mampostería reforzada en todas las plantas.	Nada	
			C 0.5	Edificación en mampostería confinada pero no en todas las plantas.	Medianamente	
			D 0.7	Edificación en mampostería que solo posee vigas de confinamiento sin columnas o columnas sin vigas de confinamiento.	Muy	
			E 0.7	Edificación en mampostería que no posee vigas y columnas de confinamiento en ninguna de las plantas.	Muy	
		HORMIGON	A 0	Sistema muro	Nada	
			B 0.3	Sistema dual o sistema combinado.	Poco	
			C 0.3	Edificios en sistema pórtico con 7 o menos pisos.	Poco	
			D 0.3	Edificios en sistema pórtico con más de 7 pisos.	Poco	
			E 1	Sistema losa-columna u otros no definidos.	Medianamente	
		TAPIA PISADA	A 0	Edificación en tapia pisada con buenas conexiones con el muro y las aberturas son menores 5% o entre el 5% y el 10% del área total del muro	Nada	
			B 0.3	Edificación en tapia pisada que presenta discontinuidad en el diafragma , y las aberturas son menores al 10% del total del area total del muro	Poco	
			C 0.7	Edificación en tapia pisada con discontinuidad en el diafragma, deformaciones apreciables , con aberturas entre 10 y 15% del área total del muro	Muy	
			D 0.5	Edificación en tapia pisada con buenas conexiones con el muro y aberturas con aberturas entre 10 y 15% o mayores al 15% del area total del muro	Medianamente	
			E 1	El entrepiso presenta mala conexión con el muro, discontinuidad y deformaciones apreciables , con aberturas entre 10 y 15% o mayores al 15% del area total del muro.	Medianamente	
2	CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE	MAMPOSTERIA	A 0	Mampostería de buena calidad, con piezas homogéneas y presencia de buen ligamento.	Nada	
			B 0.3	Mampostería de buena calidad, con piezas no muy homogéneas y bien ligadas.	Poco	
			C 0.5	Mampostería de baja calidad con piezas homogéneas o no muy homogéneas y que se encuentran bien ligadas.	Medianamente	
			D 0.7	Mampostería de buena o baja calidad, con piezas no homogéneas o mal ligadas.	Muy	
		HORMIGON	A 0	Edificio con hormigón de buena consistencia, resistente al rayado y que se observa bien ejecutado. El refuerzo utilizado es corrugado y no se observa en la superficie de los elementos estructurales. Además la mano de obra de la construcción es adecuada y el procedimiento constructivo es eficiente.	Nada	
			B 0.5	Edificios que no clasifican como A o C.	Medianamente	
		TAPIA PISADA	C 0.7	Edificios que presentan por lo menos dos de las siguientes características: a. Hormigón de mala calidad, b. Juntas de construcción mal construidas, c. Refuerzo de acero visible, d. Mala calidad de la obra, e. Los paneles de mampostería son de mala calidad.	Muy	
			A 0	Los muros de tapia o adobe se encuentran en buena condición, sin daño visible	Nada	
			B 0.3	Los muros de tapia o adobe presentan, agrietamientos de tipo capilar no extendido en todo el muro, caída de pañete	Poco	
			C 0.5	Los muros de tapia o adobe presentan grietas de 2 a 3 mm de espesor, o con agrietamiento capilar extendido, o su estado de conservación es mediocre	Medianamente	
			D 0.7	Los muros de tapia o adobe presentan un grave deterioro en los materiales de construcción o con agrietamientos mayores a 3 mm	Muy	
			3	RESISTENCIA ESTRUCTURAL	A 0	Edificación con un valor de $a \leq 1$ .
B 0.5	Edificación con un valor de $0.6 \leq a < 1$ .	Medianamente				
C 0.7	Edificación con un valor de $0.4 \leq a < 0.6$ .	Muy				
D 1	Edificación con un valor de $a < 0.4$ .	Medianamente				

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 15.** Valores de calidad y de importancia del modelo vulnerabilidad física (continuación).

4	CONFIGURACIÓN EN ALTURA	M A M P O S T E R I A	A 0	Edificación con $-\Delta M/M < 10\%$ o edificaciones de un solo piso.	Nada	M e d i a n a m e n t e	
			B 0.3	$10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$ .	Poco		
			C 0.5	$-\Delta M/M > 20\%$ .	Medianamente		
			D 0.7	$\Delta M/M > 0\%$ .	Muy		
		H O R M I G O N	A 0	Edificación que presenta disminución en las áreas de piso menores al 10%. No existen cambios considerables en rigidez de un piso a otro.	Nada		
			B 0.3	Edificación que presenta disminución en las áreas de piso mayores al 10% y menores al 20%. No existen cambios considerables en rigidez de un piso a otro.	Poco		
			C 0.7	Edificación que presenta las siguientes condiciones: a. Disminución en las áreas de piso mayores al 20% o aumentos mayores al 5%. b. Fenómeno de piso flexible. c. Fenómeno de piso débil. d. La masa de un piso es mayor a 1.5 veces la masa de los pisos adyacentes. e. Muros que presentan relaciones de esbeltez (altura/ancho) mayores de 5.			Muy
		T A P I A P I S A D A	A 0	Edificación con $-\Delta M/M < 10\%$ o edificaciones de un solo piso.	Nada		
			B 0.3	$10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$ .	Poco		
			C 0.5	$-\Delta M/M > 20\%$ .	Medianamente		
			D 0.7	$\Delta M/M > 0\%$ .	Muy		
5	UBICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	A 0	Edificación que cumple una de las siguientes condiciones: a. Edificación ubicada fuera del talud y que cumple con las distancias de aislamiento requeridas establecidas. b. Edificaciones ubicada sobre una pendiente menor a 30 grados. c. Edificación ubicada arriba de la cornisa de una ladera con pendiente del terreno entre 30 y 45 grados, sobre un talud de altura inferior a 5 metros pero que cuenta con un muro de contención en estructura rígida (concreto simple, ciclópeo o reforzado, o pantalla atirantada) de igual o mayor altura total del talud y una pendiente general del terreno abajo del pie y arriba de la cabeza del muro no superior a 3%, en una longitud superior a 3 veces la altura del muro. d. Edificación localizada abajo de la base o pie del talud, con altura total inferior a 5 metros, con muro de contención en estructura rígida (concreto simple, ciclópeo o reforzado, o pantalla atirantada), con una altura igual o superior a la altura total del talud, y con pendiente general del terreno arriba y abajo de la cabeza del muro no superior a 3%, en una longitud superior a 3 veces la altura del muro.	Nada	A b a j o d e m e d i a		
			B 0.5	No se cumple ni A ni C.		Medianamente	
		C 1	Edificación que presenta una de las siguientes características: a. Edificaciones ubicadas sobre el talud con pendiente natural superior a 57% (Ángulo de inclinación con la horizontal superior a 30 grados) o fuera de él pero donde no se cumple con las distancias de aislamiento requeridas. b. Edificaciones construidas sobre cortes. c. Ubicada sobre un corte realizado en una ladera con pendiente natural del terreno superior a 30°. d. Edificación sobre relleno en ladera.	Abajo de medio			
6	POSICIÓN DE LA CIMENTACIÓN	A 0	La cimentación está ubicada a una misma cota. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.	Nada	M u y		
			B 0.3	La diferencia máxima entre las cotas de la cimentación es inferior a 1 metro con ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén o la fundación se encuentra a una misma cota pero hay presencia de empuje no equilibrado debido al terraplén.		Poco	
			C 0.5	La diferencia máxima entre las cotas de la cimentación es inferior a 1 metro con presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.		Medianamente	
			D 0.7	La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a un metro.		Muy	

Fuente: Elaboración Propia



**Tabla 16. Valores de calidad y de importancia del modelo vulnerabilidad física (continuación).**

7	TIPO DE CIMENTACIÓN	MAMPUESTERIA	A 0	Sistema de pilotes.	Nada	Muy		
			B 0	Cimentación corrida.	Nada			
			C 0	La edificación se encuentra sobre una losa de cimentación.	Nada			
			D 0.5	La edificación se apoya sobre elementos esbeltos que descansan en zapatas profundas.	Medianamente			
			E 0.7	La edificación se apoya sobre elementos esbeltos que descansan en zapatas en la superficie del terreno.	Muy			
		HORMIGÓN	A 0	Sistema de pilotes.	Nada			
			B 0	Zapatas aisladas con vigas de amarre.	Nada			
			C 0.5	Zapatas aisladas sin vigas de amarre.	Medianamente			
			D 0.5	La edificación se apoya sobre elementos esbeltos que descansan en zapatas profundas.	Medianamente			
			E 1	La edificación se apoya sobre elementos esbeltos que descansan en zapatas en la superficie del terreno.	Muy			
		CIMENTACIÓN	A 0	Cimentación Corrida sobre suelo firme	Nada			
			B 0.7	Cimentación corrida sobre suelo suelto	Muy			
			C 1	La edificación esta cimentada sobre la superficie del suelo	Muy			
		8	TIPO DE SUELO	A 0	Edificación cimentada sobre roca de buena calidad o suelo rígido.		Nada	Muy
				B 0.5	Edificaciones que no cumplen con los requisitos para ser clasificadas como A o C.		Medianamente	
C 1	Edificación cimentada sobre suelos blandos o llenos.			Muy				
9	VEGETACIÓN DEL SITIO	A 0	La edificación se encuentra sobre un sitio donde se ha mantenido el contorno natural en lo posible y donde existe buena parte de su vegetación natural.	Nada	Medianamente			
		B 0.5	La edificación se encuentra sobre un sitio donde no se ha mantenido el contorno natural y se conserva una pequeña parte de la vegetación natural del sitio.	Medianamente				
		C 0.7	El sitio donde se ha construido la edificación ha sufrido una transformación importante y se ha realizado una limpieza discriminada.	Muy				
10	MUROS DE CONTENCIÓN	A 0	La edificación no requiere muros de contención y si los requiere se cumple lo siguiente: a. Los muros estén diseñados para resistir la acción del suelo y las fuerzas que ejerce el agua. b. Están cimentados sobre roca o suelo firme. c. Los muros cuentan con un sistema de drenaje detrás de la pared vertical y/o un sistema de floraderos o huecos de drenaje con diámetros de 2 a 3 pulgadas, espaciados menos de 1.5 metros horizontalmente y 1.0 verticalmente, en columnas intercaladas. El primer floradero aparece a una altura baja mínima de 30 centímetros por encima del nivel del pie del muro. d. Los materiales de relleno son limpios y compactos de acuerdo a las normas de la ingeniería.	Nada	Muy			
			B 0.7	Edificación que no aplica en A o en C.		Muy		
		C 1	Requiere muro pero no cuenta con él. La edificación requiere muros estructuralmente pero estos: a. Están construidos inadecuadamente, utilizando material flojo o mal compactado. b. El relleno cuenta con troncos, árboles, vegetación, rocas inestables, escombros de construcción etc. c. No se cuenta con un sistema de drenaje adecuado.	Muy				
11	SISTEMA DE DRENAJES	A 0	Se cumple lo siguiente: a. Existe sistema de alcantarillado el cual recoge las aguas lluvias de los tejados y de las aguas negras, alcantarillado. b. Los tanques de almacenamiento son herméticos y cimentados adecuadamente.	Nada	Medianamente			
			B 0.5	No se cumple ni A ni C.		Medianamente		
		C 0.7	Se cumple lo siguiente: a. Las aguas de escorrentía recogidas en la cubierta de la edificación son entregadas directamente al talud. b. Las aguas negras son entregadas directamente al talud. c. No existen drenajes superficiales. d. Los tanques de almacenamiento no son herméticos y no están cimentados adecuadamente.	Muy				

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 17. Valores de calidad y de importancia del modelo vulnerabilidad física (continuación).**

12	MANEJO DE BASURAS	A	0	Existe un sistema de recolección de basuras adecuado.	Nada	Poco	
		B	0.7	El sistema de recolección no es adecuado o se vierte la basura directamente sobre y en la ladera.	Muy		
13	ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL ENTORNO	A	0	El sector cuenta con sistemas de drenaje limpios. No existen uniones rotas en el alcantarillado ni hay presencia de escapes en tubos de suministro. No se observan filtraciones de agua en el suelo.	Nada	Mediamente	
		B	0.5	No clasifica en A ni en C.	Mediamente		
		C	0.7	El sector no cuenta con sistema de drenaje limpio y además se presenta por lo menos uno de los siguientes aspectos: a. Existen uniones rotas en el alcantarillado. b. Hay presencia de escapes en tubos de suministro. c. Se observan filtraciones de agua en el suelo.	Muy		
14	ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	MAMPUESTERIA	A	0	Muros en buena condición, sin fisuras visibles.	Nada	Muy
			B	0.3	Muros que presentan fisuras no extendidas, producidas por causas diferentes a la acción sísmica.	Poco	
			C	0.6	Muros con fisuras de tamaño medio entre 2 a 3 milímetros de ancho producidas por sismos ó, edificio que no presenta fisuras pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería.	Mediamente	
			D	0.7	Muros que presentan un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes ó, fisuras de más de 3 milímetros de ancho.	Muy	
		HORMIGÓN	A	0	Edificación que se encuentra en buenas condiciones, sin fisuras de los elementos estructurales o daños en la cimentación.	Nada	
			B	0.6	Edificación que no clasifica como A ó C.	Mediamente	
			C	0.7	Edificación que presenta más de un 30% de elementos del sistema resistente fisurados, daños en la cimentación y la placa presenta fisuras mayores a 5 mm.	Muy	
		TAPIA PISADA	A	0	Los muros de tapia o adobe se encuentran en buena condición, sin daño visible	Nada	
			B	0.3	Los muros de tapia o adobe presentan, agrietamientos de tipo capilar no extendido en todo el muro, caída de pañete	Poco	
			C	0.6	Los muros de tapia o adobe presentan grietas de 2 a 3 mm de espesor, o con agrietamiento capilar extendido, o su estado de conservación es mediocre	Mediamente	
			D	1	Los muros de tapia o adobe presentan un grave deterioro en los materiales de construcción o con agrietamientos mayores a 3 mm	Muy	

Fuente: Elaboración Propia

El índice de vulnerabilidad de las edificaciones de la zona de estudio fue determinando por medio de los valores de calidad y de importancia del modelo de vulnerabilidad física planteado, cuyos resultados son clasificados de acuerdo a los grados de vulnerabilidad presentados en la figura 20.

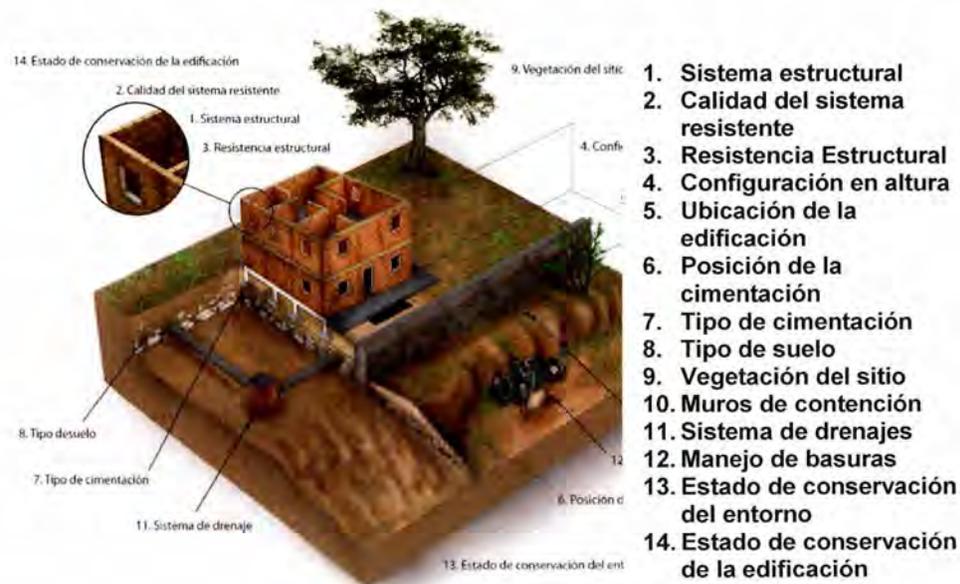
**Figura 20.** Clasificación de los grados de vulnerabilidad.

INDICE DE VULNERABILIDAD				
Clasificación de los grados de Vulnerabilidad				
VULNERABILIDAD MUY BAJA	Nada	0	0-0.15	BAJA
VULNERABILIDAD BAJA	Poco	0.3	0.15-0.4	
VULNERABILIDAD MEDIA BAJA	Medianamente	0.5	0.4-0.6	MEDIA
VULNERABILIDAD MEDIA	Muy	0.7	0.6-0.85	
VULNERABILIDAD ALTA	Absolutamente	1	0.85-1	ALTA

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.1.4. PARÁMETROS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

El cálculo de este índice se basa en la identificación de los parámetros, considerados los más relevantes e influyentes en el daño que tendrá una edificación bajo la acción de un fenómeno de remoción en masa, y en la relación existente entre estos parámetros y sus valores de importancia dentro del estimativo total de vulnerabilidad. Los parámetros se asocian de acuerdo a las características propias de las estructuras, a su ubicación y a factores del entorno, y el aporte de los aspectos estructurales que puede ser directo e indirecto (figura 21).

**Figura 21.** Parámetros del modelo de vulnerabilidad de edificaciones.

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se describe cada uno de los parámetros identificados en las edificaciones de mampostería.



#### 5.1.4.1. Parámetro 1-Sistema estructural

- **Edificaciones de Mampostería**
  - A. Edificación en mampostería confinada en todas las plantas.
  - B. Edificación en mampostería reforzada en todas las plantas.
  - C. Edificación en mampostería confinada pero no en todas las plantas.
  - D. Edificación en mampostería que solo posee vigas de confinamiento sin columnas o columnas sin vigas de confinamiento.
  - E. Edificación en mampostería que no posee vigas y columnas de confinamiento en ninguna de las plantas.
- **Edificaciones de Hormigón Reforzado**
  - A. Sistema muro
  - B. Sistema dual o sistema combinado.
  - C. Edificios en sistema pórtico con 7 o menos pisos.
  - D. Edificios en sistema pórtico con más de 7 pisos.
  - E. Sistema losa-columna u otros no definidos.
- **Edificaciones de Tapia Pisada**
  - A. Edificación en tapia pisada con buenas conexiones con el muro y las aberturas son menores 5% o entre el 5% y el 10% del área total del muro.
  - B. Edificación en tapia pisada que presenta discontinuidad en el diafragma, y las aberturas son menores al 10% del total del área total del muro.
  - C. Edificación en tapia pisada con discontinuidad en el diafragma, deformaciones apreciables, con aberturas entre 10 y 15% del área total del muro.
  - D. Edificación en tapia pisada con buenas conexiones con el muro y aberturas con aberturas entre 10 y 15% o mayores al 15% del área total del muro.
  - E. El entrepiso presenta mala conexión con el muro, discontinuidad y deformaciones apreciables, con aberturas entre 10 y 15% o mayores al 15% del área total del muro.

#### 5.1.4.2. Parámetro 2-Calidad del sistema resistente

- **Edificaciones de Mampostería**
  - A. Mampostería de buena calidad, con piezas homogéneas y presencia de buen ligamento.
  - B. Mampostería de buena calidad, con piezas no muy homogéneas y bien ligadas.
  - C. Mampostería de baja calidad con piezas homogéneas o no muy homogéneas y que se encuentran bien ligadas.
  - D. Mampostería de buena o baja calidad, con piezas no homogéneas o mal ligadas.



- **Edificaciones de Hormigón Reforzado**
  - A. Edificio con hormigón de buena consistencia, resistente al rayado y que se observa bien ejecutado. El refuerzo utilizado es corrugado y no se observa en la superficie de los elementos estructurales. Además la mano de obra de la construcción es adecuada y el procedimiento constructivo es eficiente.
  - B. Edificios que no clasifican como A o C.
  - C. Edificios que presentan por lo menos dos de las siguientes características:
    1. Hormigón de mala calidad,
    2. Juntas de construcción mal construidas,
    3. Refuerzo de acero visible,
    4. Mala calidad de la obra,
    5. Los paneles de mampostería son de mala calidad.
  
- **Edificaciones de Tapia Pisada**
  - A. Los muros de tapia o adobe se encuentran en buena condición, sin daño visible.
  - B. Los muros de tapia o adobe presentan, agrietamientos de tipo capilar no extendido en todo el muro, caída de pañete.
  - C. Los muros de tapia o adobe presentan grietas de 2 a 3 mm de espesor, o con agrietamiento capilar extendido, o su estado de conservación es mediocre.
  - D. Los muros de tapia o adobe presentan un grave deterioro en los materiales de construcción o con agrietamientos mayores a 3 mm.

#### 5.1.4.3. Parámetro 3-Resistencia Estructural

- **Edificaciones de Mampostería**

En este parámetro se evaluó la resistencia que puede presentar una edificación frente a cargas, mediante la relación entre el cortante resistente y el cortante actuante (utilizando la hipótesis del comportamiento de la estructura ortogonal cerrada, tipo cajón).

Para evaluar el esfuerzo cortante resistente, se utiliza el concepto del coeficiente,  $C$ , definido como la relación entre la fuerza máxima resistente horizontal y el peso del edificio, mediante las fórmulas siguientes (Yépez, 1996):

$$C = \frac{\alpha_o * \tau_k}{q * N} \quad (6.8)$$

$$\alpha_o = \frac{A}{At}; A = \min[Ax; Ay] \quad (6.9)$$

$$q = \frac{(A_x + A_y) * h}{At} * P_m + P_s \quad (6.10)$$

Donde  $N$  es el número de pisos,  $At$  es el área total en planta ( $m^2$ ),  $Ax$  y  $Ay$  son las áreas totales resistentes de muros en la dirección "x" y "y" ( $m^2$ ).



Las paredes consideradas como parte del esquema resistente a fuerzas laterales son aquellas que están vinculadas al sistema de entrepiso y que además no tienen aberturas que superen el 60% del área total de la pared; es decir, se dejan de considerar las paredes que cumplen exclusivamente la función arquitectónica de dividir espacios y aquellas con grandes aberturas,  $h$  es la altura en promedio de los entrepisos (m),  $P_m$  es el peso específico de la mampostería (Ton/m<sup>3</sup>),  $P_s$  es el peso por unidad de área del diafragma (Ton/m<sup>2</sup>),  $q$  = representa el peso de un piso por unidad de área cubierta y es igual al peso de los muros más el peso del diafragma horizontal, asumiendo que no existen variaciones

excesivas de masa entre los diferentes pisos del edificio.  $\tau_k$  es la resistencia al cortante de muros de mampostería (Ton/m<sup>2</sup>). En el caso que la mampostería esté constituida de diferentes materiales, el valor de  $\tau_k$  se determina como un promedio ponderado de los

valores de resistencia a cortante para cada uno de los materiales  $\tau_i$  utilizando como factor de peso el porcentaje relativo en área  $A_i$  de cada uno de ellos (Ecuación 6.11), de lo contrario solo se utiliza el valor de la resistencia a cortante del tipo de mampostería única que existe.

$$\tau_k = \frac{\sum \tau_i * A_i}{\sum A_i} \quad (6.11)$$

- **Edificaciones de Hormigón Reforzado**

Este parámetro busca determinar en una forma sencilla pero confiable, la capacidad que tiene la estructura para soportar una acción. Para ello, se evalúa un coeficiente de seguridad, referido al nivel de fuerza sísmica de diseño y mediante la utilización de hipótesis que simplifiquen el comportamiento de la estructura (acciones estáticas, ausencia de excentricidades e irregularidades, etc).

La expresión para  $\alpha$  es la siguiente:

$$\alpha = \frac{R * C}{Z} \quad (6.12)$$

Donde  $C$  es el coeficiente,  $R$  el coeficiente de disipación de energía y  $Z$  es la aceleración espectral obtenida del espectro elástico.

Para el cálculo de  $R$ , el valor se asumirá dependiendo de la tipología estructural y el año de construcción. Para edificaciones construidas después de 1998 se tomará de 7, las construidas entre 1984-1998 un valor de 5, y antes de 1984 de 2.5 (Este valor fue tomado debido a que los diseños en este período eran realizados solo para cargas verticales). Para edificaciones de losa columna se tomará igual a 1. De igual forma, se asume que los coeficientes de reducción por irregularidades en planta y en altura son iguales a 1.

Para evaluar el cortante resistente, se utiliza el concepto del coeficiente sísmico,  $C$ , definido como la relación entre la fuerza máxima resistente horizontal y el peso del edificio, mediante las fórmulas siguientes:

$$C = \frac{\alpha_0 \tau}{q * N} \quad (6.13)$$

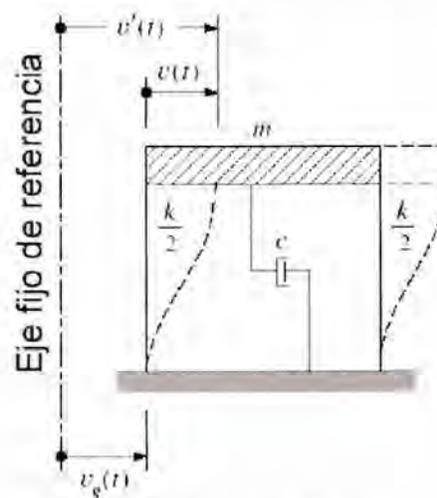
$$\alpha_0 = \frac{A}{A_t}; A = \min [A_x, A_y] \quad (6.14)$$

$$q = \frac{(A_x + A_y) * h}{A_t} * P_c + P_s \quad (6.15)$$

Donde **N** es el Número de pisos, **At** es el Área total en planta ( $m^2$ ), **Ax** y **Ay** con las áreas totales de las secciones resistentes en la dirección "x" y "y" ( $m^2$ )., **h** es la altura en promedio de los entrepisos (m), **Pc** es el peso específico de los elementos del sistema resistente ( $Ton/m^3$ ), **Ps** es el peso por unidad de área del diafragma ( $Ton/m^2$ ), **q** representa el peso de un piso por unidad de área cubierta y es igual al peso de los elementos del sistema resistente más el peso del diafragma horizontal, asumiendo que no existen variaciones excesivas de masa entre los diferentes pisos del edificio.  $\tau$  es la resistencia al cortante de los elementos del sistema resistente ( $Ton/m^2$ ).

La calificación final de este ítem en ambos tipos de edificaciones se realizó mediante la relación  $\alpha = C/Z$  donde **Z** es un coeficiente de demanda o el valor máximo de la pseudo-aceleración de un sistema de un solo grado de libertad (SDOF) producido por un desplazamiento y/o velocidad en la base, que simula el movimiento del terreno (figura 22).

Figura 22. Representación del movimiento del terreno.



Fuente: Elaboración Propia

Una forma de representar la ecuación de rige el movimiento de un SDOF sometido a una excitación en la base es la siguiente:

$$m\ddot{v}'(t) + c\dot{v}'(t) + kv'(t) = c\dot{v}_g(t) + kv_g(t) \quad (6.16)$$

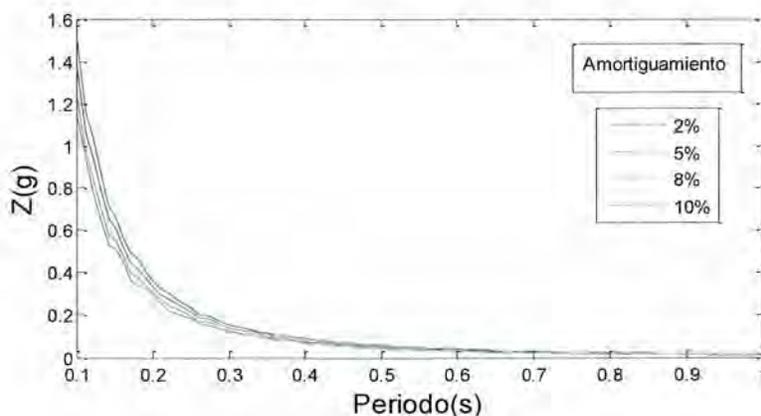
$$v'(t) = v_g(t) + v(t) \quad (6.17)$$

La pseudo-aceleración máxima del sistema estará representada en función del desplazamiento como:

$$Z_{\max} = \omega_n^2 v_{\max} = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right)^2 v_{\max} \quad (6.18)$$

Para hallar el máximo desplazamiento del sistema se debe variar el periodo natural del SDOF y establecer para que condición es máximo. Las velocidades y desplazamiento en la base se asumieron como una función impulso y una función escalón, respectivamente. En la figura 23 se muestra la respuesta espectral para un desplazamiento del terreno de 2.5cm.

**Figura 23.** Espectro de pseudo-aceleración ( $Z(g)$ ) para un desplazamiento del terreno de 2.5cm.



Fuente: Elaboración Propia

De aquí, para este parámetro se tiene que:

A. Edificación con un valor de  $\alpha \geq 1$ . B. Edificación con un valor de  $0.6 \leq \alpha < 1$ . C. Edificación con un valor de  $0.4 \leq \alpha < 0.6$ . D. Edificación con un valor de  $\alpha < 0.4$ .



### 5.1.4.4. Parámetro 4-Configuración en altura

• **Edificaciones En Mampostería**

Este parámetro pretende evaluar la simetría de la distribución de la masa y la rigidez en altura. Con esta característica se calificara mediante la variación de masa en porcentaje  $\pm \Delta M/M$  entre dos pisos sucesivos. Siendo  $\Delta M$  = Variación máxima de la masa en dos pisos sucesivos, utilizando el signo (+) si se trata de aumento o el (-) si se trata de disminución de masa hacia lo alto del edificio. **M** es la masa del piso más bajo.

- A. Edificación con  $-\Delta M/M < 10\%$  o edificaciones de un solo piso.
- B.  $10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$ .
- C.  $-\Delta M/M > 20\%$ .
- D.  $+\Delta M/M > 0$ .

• **Edificaciones En Hormigón**

- A. Edificación que presenta disminución en las áreas de piso menores al 10%. No existen cambios considerables en rigidez de un piso a otro.
- B. Edificación que presenta disminución en las áreas de piso mayores al 10% y menores al 20%. No existen cambios considerables en rigidez de un piso a otro.
- C. Edificación que presenta las siguientes condiciones:
  - a. Disminución en las áreas de piso mayores al 20% o aumentos mayores al 5%.
  - b. Fenómeno de piso flexible.
  - c. Fenómeno de piso débil.
  - d. La masa de un piso es mayor a 1.5 veces la masa de los pisos adyacentes.
  - e. Muros que presentan relaciones de esbeltez (altura/ancho) mayores de 5.

• **Edificaciones De Tapia Pisada**

- A. Edificación con  $-\Delta M/M < 10\%$  o edificaciones de un solo piso.
- B.  $10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$ .
- A.  $-\Delta M/M > 20\%$ .
- B.  $+\Delta M/M > 0$ .

### 5.1.4.5. Parámetro 5-Ubicación de la edificación

La capacidad de soporte del suelo cerca o sobre taludes es inferior a la capacidad de soporte del mismo suelo en topografía semi-plana. En la práctica generalmente no se toma en consideración esta diferencia y por esta razón en ocasiones se han presentado problemas de estabilidad, especialmente de cimientos o zapatas aisladas apoyadas cerca de la corona o sobre taludes (Suarez, 2009).

Por consiguiente existen recomendaciones en cuanto a la definición de las zonas de aislamiento es decir las aéreas junto al pie o corona de los taludes o laderas, en las cuales no se recomienda construir edificaciones. Generalmente estas zonas corresponden a la franja mínima de terreno medida horizontalmente desde el pie o corona del talud hasta el sitio donde no se permite construir.



Para Bucaramanga según Suarez (2009) la distancia de aislamiento se determina de acuerdo a la posición de la edificación y la pendiente del terreno, de la siguiente manera:

- **Para edificaciones ubicadas arriba de la corona con pendientes del terreno superiores a 45°**
  1. El aislamiento mínimo medido desde el pie del talud es igual a 1.5 H (siendo H la altura del talud), debiendo ser el aislamiento de la corona siempre mayor a 5.0 metros.
  2. El aislamiento máximo exigido medido desde la corona del talud debe ser de 30 metros, a menos que los estudios de estabilidad de taludes exijan aislamientos mayores para garantizar los factores de seguridad superiores a 1.5.
- **Para edificaciones ubicadas arriba de la corona del talud con pendientes del terreno entre los 30° y 45°**
  - El aislamiento mínimo medido desde la corona del talud es igual a H/4, debiendo ser superior a 5.0 metros.
- **Para edificaciones construidas abajo del pie del talud**
  1. El aislamiento mínimo debe ser de H/4, debiendo ser superior a 5.0 metros.
  2. El aislamiento máximo debe ser de 20.0 metros, a menos que los estudios de estabilidad de taludes exijan aislamientos mayores para garantizar los factores de seguridad superiores a 1.
  3. Cuando la edificación se encuentra en un terreno con pendiente mayor a 45°, para tomar la medida del aislamiento se considera el pie del talud localizado en la proyección de la línea de pendiente de 45° trazada desde la cabeza del talud, independientemente de que existan o no estructuras de contención.

En los casos donde las edificaciones se encuentren arriba de la corona o debajo del pie de un talud con altura igual o inferior a los 5.0 metros no se exige el cumplimiento de los aislamientos siempre y cuando se cuente con un muro de contención en estructura rígida (concreto simple, ciclópeo o reforzado, o pantalla atirantada). La altura del muro debe ser igual o superior a la altura total del talud y la pendiente general de terreno abajo del pie y arriba de la cabeza del muro, no debe ser superior a 3% en una longitud superior a 3 veces la altura del muro.

Luego para la clasificación del parámetro se considera:

- A. Edificación que cumpla una de las siguientes condiciones:
  1. Edificación ubicada sobre una pendiente menor a 30 grados o ubicada fuera de un talud mayor de 30 grados que cumple con las distancias de aislamiento requeridas establecidas.
  2. Edificación ubicada arriba de la corona de una ladera con pendiente del terreno entre 30 y 45 grados, sobre un talud de altura inferior a 5 metros pero que cuenta con un muro de contención en estructura rígida (concreto simple, ciclópeo o reforzado, o pantalla atirantada) de igual o mayor altura



total del talud y una pendiente general del terreno abajo del pié y arriba de la cabeza del muro no superior a 3%, en una longitud superior a 3 veces la altura del muro.

3. Edificación localizada abajo de la base o pié del talud, con altura total inferior a 5 metros, con muro de contención en estructura rígida (concreto simple, ciclópeo o reforzado, o pantalla atirantada), con una altura igual o superior a la altura total del talud, y con pendiente general del terreno arriba y abajo de la cabeza del muro no superior a 3%, en una longitud superior a 3 veces la altura del muro.

**B.** No se cumple ni A ni C.

**C.** Edificación que presenta una de las siguientes características:

1. Edificaciones ubicadas sobre el talud con pendiente natural superior a 57% (Angulo de inclinación con la horizontal superior a 30 grados) o fuera de él pero donde no se cumple con las distancias de aislamiento requeridas.
2. Edificaciones construidas sobre cortes.
3. Edificación ubicada sobre un corte realizado en una ladera con pendiente natural del terreno superior a 30 grados.
4. Edificación ubicada sobre relleno en ladera.

#### **5.1.4.6. Parámetro 6-Posición de la cimentación**

- A.** La cimentación está ubicada a una misma cota. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
- B.** La diferencia máxima entre las cotas de la cimentación es inferior a 1 metro con ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén o la fundación se encuentra a una misma cota pero hay presencia de empuje no equilibrado debido al terraplén.
- C.** La diferencia máxima entre las cotas de la cimentación es inferior a 1 metro con presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
- D.** La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a un metro.

#### **5.1.4.7. Parámetro 7-Tipo de cimentación**

La diferencia fundamental entre un cimiento en un terreno plano y uno sobre un talud o ladera es la falta de confinamiento lateral para el suelo de fundación en el caso de un talud. Luego la falta de confinamiento puede generar:

1. Presencia de esfuerzos de tensión en el suelo de cimentación debido a la presencia del talud.
2. Disminución de la capacidad de soporte del suelo de cimentación.
3. Efecto negativo de los efectos sísmicos sobre la estabilidad de las cimentaciones.
4. Variación de los módulos de reacción del suelo a medida que la cimentación se acerca al talud.
5. Falla general de los taludes al cortante, incluyendo la cimentación.



Varios autores (Suarez, 2009 y Uto, 1985) aseguran que las cargas laterales de los pilotes pueden afectar la estabilidad del talud, por ello en su diseño se debe tener presente este efecto en su diseño.

- **Edificación De Mampostería**
  - A. Sistema de pilotes.
  - B. Cimentación corrida.
  - C. La edificación se encuentra sobre una losa de cimentación.
  - D. La edificación se apoya sobre elementos esbeltos que descansan en zapatas profundas.
  - E. La edificación se apoya sobre elementos esbeltos que descansan en zapatas en la superficie del terreno.
  
- **Edificación De Hormigón Reforzado**
  - A. Sistema de pilotes.
  - B. Zapatas aisladas con vigas de amarre.
  - C. Zapatas aisladas sin vigas de amarre.
  - D. La edificación se apoya sobre elementos esbeltos que descansan en zapatas profundas.
  - E. La edificación se apoya sobre elementos esbeltos que descansan en zapatas en la superficie del terreno.
  
- **Edificaciones De Tapia Pisada**
  - A. Cimentación corrida sobre suelo firme
  - B. Cementación corrida sobre suelo suelto
  - C. La edificación esta cimentada sobre la superficie del suelo

#### **5.1.4.8. Parámetro 8-Tipo de suelo**

- A. Edificación cimentada sobre roca o suelo rígido.
- B. Edificación cimentada sobre llenos.

#### **5.1.4.9. Parámetro 9-Vegetación del sitio**

- A. La edificación se encuentra sobre un sitio donde se ha mantenido el contorno natural en lo posible y donde existe buena parte de su vegetación natural.
- B. La edificación se encuentra sobre un sitio donde no se ha mantenido el contorno natural y se conserva una pequeña parte de la vegetación natural del sitio.
- C. El sitio donde se ha construido la edificación ha sufrido una transformación importante y se ha realizado una limpieza discriminada.



#### 5.1.4.10. Parámetro 10-Muros de contención

Los muros de contención son utilizados para soportar las cargas laterales que genera el suelo cuando tiende a moverse. Los muros deben ser capaces de soportar los esfuerzos de corte y momentos internos generados por las presiones del suelo y demás cargas. Debe ser seguro contra un posible volcamiento, un desplazamiento lateral; los asentamiento y distorsiones deben limitarse a valores tolerables; debe impedirse la erosión del suelo por debajo y adelante del muro bien sea por presencia de agua o del a escorrentía de las lluvias.

En todos los casos los muros de hormigón reforzado deben contener un sistema de drenaje detrás de su pared vertical y/o un sistema de lloradero o salidas de agua para el agua represada detrás del muro (Suarez, 2009). El muro de hormigón debe tener juntas mínimo cada 10 m a lo largo del muro, para evitar fisuras o grietas. Muchas veces el espaciamiento depende de los cambios de temperatura del sitio de la obra. También deben construirse juntas en los sitios e cambio brusco de sección o del nivel de cimentación.

El sistema de drenajes se debe construir detrás de todo muro de contención. El sistema de drenaje debe diseñarse en tal forma que sea capaz de captar el agua antes de que afecte el muro. Adicionalmente a los subdrenajes deben colocarse huecos de drenaje para prevenir la presión hidrostática, los cuales son normalmente de diámetro de 2 a 3 pulgadas espaciado no mayor de 1.5 metros horizontalmente y 1 metro verticalmente, las columnas deben intercalarse. Los lloraderos deben colocarse desde una altura baja mínima de 30 centímetros por encima del nivel del pie del muro.

- A. La edificación no requiere muros de contención y si los requiere se cumple lo siguiente:
  - a. Los muros estén diseñados para resistir la acción del suelo y las fuerzas que ejerce el agua.
  - b. Están cimentados sobre roca o suelo firme.
  - c. Los muros cuentan con un sistema de drenaje detrás de la pared vertical y/o un sistema de lloraderos o huecos de drenaje con diámetros de 2 a 3 pulgadas, espaciados menos de 1.5 metros horizontalmente y 1.0 verticalmente, en columnas intercaladas. El primer lloradero aparece a una altura baja mínima de 30 centímetros por encima del nivel del pie del muro.
  - d. Los materiales de relleno son limpios y compactos de acuerdo a las normas de la ingeniería.
- B. Edificación que no aplica en A o en C.
- C. Requiere muro pero no cuenta con él. La edificación requiere muros estructuralmente pero estos:
  - a. Están contruidos inadecuadamente, utilizando material flojo o mal compactado.
  - b. El relleno cuenta con troncos, árboles, vegetación, rocas inestables, escombros de construcción etc.
  - c. No se cuenta con un sistema de drenaje adecuado.



#### 5.1.4.11. Parámetro 11-Sistema de drenaje

El drenaje y el subdrenaje son métodos de remediación o prevención de deslizamientos muy eficientes. El drenaje reduce el peso de la masa y al mismo tiempo, aumenta la resistencia del talud, al disminuir la presión de poros. Los drenajes disminuyen la presión de poros y de esa manera, aumentan la resistencia al corte, eliminan las fuerzas hidrostáticas desestabilizantes y mejoran el factor de seguridad de las superficies de falla por debajo del nivel del agua.

El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro, lejos del talud que se va a proteger. El agua de escorrentía debe desviarse antes de que penetre en el área del talud. Por otro lado, el agua de las lluvias que cae directo sobre el talud, debe ser evaluada lo más rápidamente posible, evitando al mismo tiempo que su paso cause daños por la acción de la erosión, almacenamiento o infiltración.

- A. Se cumple lo siguiente:
  - a. Existe sistema de alcantarillado el cual recoge las aguas lluvias de los tejados y de las aguas negras.
  - b. Existen drenajes superficiales para las aguas de escorrentía y estas descargan a un sistema de alcantarillado.
  - c. Los tanques de almacenamiento son herméticos y cimentados adecuadamente.
- B. No se cumple ni A ni C.
- C. Se cumple lo siguiente:
  - a. Las aguas de escorrentía recogidas en la cubierta de la edificación son entregadas directamente al talud.
  - b. Las aguas negras son entregadas directamente al talud.
  - c. No existen drenajes superficiales.
  - d. Los tanques de almacenamiento no son herméticos y no están cimentados adecuadamente.

#### 5.1.4.12. Parámetro 12-Manejo de basuras

- A. Existe un sistema de recolección de basuras adecuado.
- B. El sistema de recolección no es adecuado o se vierte la basura directamente sobre y en la ladera.

#### 5.1.4.13. Parámetro 13-Estado de conservación del entorno

La implementación de un sistema de drenaje requiere el mantenimiento y la adecuación de los elementos de drenaje existentes como se indica a continuación.



En la entrega de las aguas de la edificación se deben reparar las roturas y reemplazar las conexiones deterioradas. Las obstrucciones de materiales o sedimentos, deben ser eliminadas totalmente.

- A. El sector cuenta con sistemas de drenaje limpios. No existen uniones rotas en el alcantarillado ni hay presencia de escapes en tubos de suministro. No se observan filtraciones de agua en el suelo.
- B. No clasifica en A ni en C.
- C. El sector no cuenta con sistema de drenaje limpio y además se presenta por lo menos uno de los siguientes aspectos:
  - Existen uniones rotas en el alcantarillado.
  - Hay presencia de escapes en tubos de suministro.
  - Se observan filtraciones de agua en el suelo.

#### 5.1.4.14. Parámetro 14-Estado de conservación de la edificación

- **Edificación de Mampostería**
  - A. Muros en buena condición, sin fisuras visibles.
  - B. Muros que presentan fisuras no extendidas, producidas por causas diferentes a la acción sísmica.
  - C. Muros con fisuras de tamaño medio entre 2 a 3 milímetros de ancho producidas por sismos o, edificio que no presenta fisuras pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería.
  - D. Muros que presentan un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes ó, fisuras de más de 3 milímetros de ancho.
- **Edificación de Hormigón Reforzado**
  - A. Edificación que se encuentra en buenas condiciones, sin fisuras de los elementos estructurales o daños en la cimentación.
  - B. Edificación que no clasifica como A o C.
  - C. Edificación que presenta más de un 30% de elementos del sistema resistente fisurados, daños en la cimentación y la placa presenta fisuras mayores a 5mm.
- **Edificaciones de Tapia Pisada**
  - A. Los muros de tapia o adobe se encuentran en buena condición, sin daño visible.
  - B. Los muros de tapia o adobe presentan, agrietamientos de tipo capilar no extendido en todo el muro, caída de pañete.
  - C. Los muros de tapia o adobe presentan grietas de 2 a 3 mm de espesor, o con agrietamiento capilar extendido, o su estado de conservación es mediocre.
  - D. Los muros de tapia o adobe presentan un grave deterioro en los materiales de construcción o con agrietamientos mayores a 3mm.

## 5.1.5. PARÁMETROS DEL INDICE DE VULNERABILIDAD DE LAS EDIFICACIONES DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 5.1.5.1. Parámetro 1-Sistema estructural

Teniendo en cuenta la información registrada en el levantamiento general y resumida en la figura 24 que contiene los porcentajes de las Tipologías de los sistema estructurales de la zona estudiada, se realizó la evaluación del Parámetro 1, el cual fue identificado y evaluado según el modelo propuesto para la evaluación de la vulnerabilidad frente a fenómenos de remoción en masa; es de considerar que el 12% de las edificaciones o predios cuentan con sistemas estructurales no clasificados dentro de la tipología analizada, como son los casos de viviendas precarias construidas con materiales rústicos o de desecho, lotes entre otros.

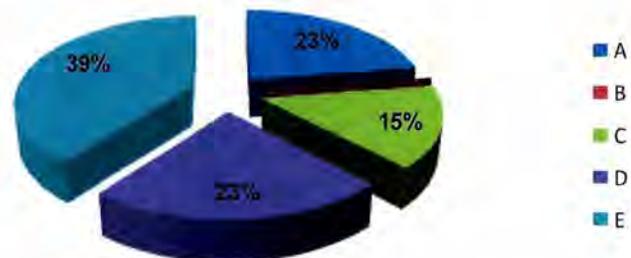
- **Edificación De Mampostería**

Los resultados de las edificaciones con sistema estructural en Mampostería confinada evidencian el bajo nivel de confinamiento de los diferentes niveles de las edificaciones, equivalente a un 62%. El 15% de las edificaciones presentan confinamientos en algunos muros de la edificación.

En la figura 25 se ilustran algunos casos particulares que representan ejemplos de las deficiencias en el confinamiento de los muros en el sistema estructural.

**Figura 24.** Sistema estructural de edificaciones en mampostería.

Clasificación	Cantidad
A	612
B	0
C	404
D	616
E	1060
<b>Total</b>	<b>2692</b>



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 25.** Registro fotográfico, Edificaciones en mampostería confinada con deficiencias en el confinamiento de sus muros de mampostería. Levantamiento General Municipio de Vélez.

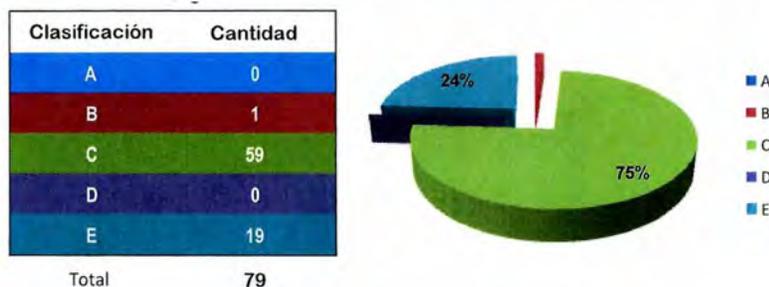


Fuente: Elaboración Propia

- **Edificación De Hormigón Reforzado**

El 75% de las edificaciones en hormigón son edificios en sistema pórtico con 7 o menos pisos, y representan el 10% de las edificaciones de la zona de estudio.

**Figura 26.** Sistema estructural de edificaciones en hormigón.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 27.** Registro fotográfico, Edificaciones en Hormigón - Levantamiento General Municipio de Vélez.

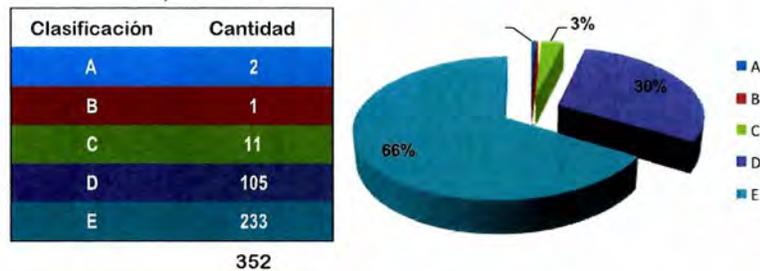


Fuente: Elaboración Propia

- **Edificaciones de Tapia Pisada**

El 66% de las edificaciones en tapia pisada presentan deficiencias en el sistema constructivo ya que no cuentan con una buena conexión del entrepiso con los muros y presentan discontinuidades o deformaciones apreciables (ver figura 28).

**Figura 28.** Sistema estructural de edificaciones en tapia pisada.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 29.** Registro fotográfico, Edificaciones en Tapia pisada que presentan deficiencias en el sistema. Levantamiento General Municipio de Vélez.



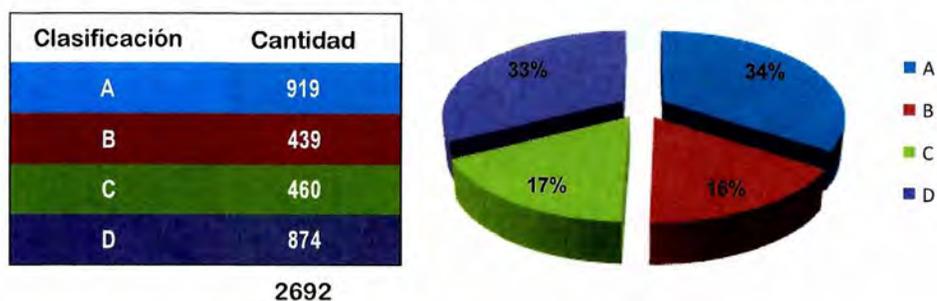
Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.5.2. Parámetro 2-Calidad del sistema resistente

- **Edificación de Mampostería**

El 50% de las edificaciones en mampostería confinada presenta materiales de baja calidad, con piezas no muy homogéneas y/o mal ligadas.

Figura 30. Calidad del sistema de edificaciones en mampostería.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 31. Registro fotográfico, Edificaciones en mampostería confinada con materiales de baja calidad con piezas no muy homogéneas y/o mal ligadas. Levantamiento General Municipio de Vélez.

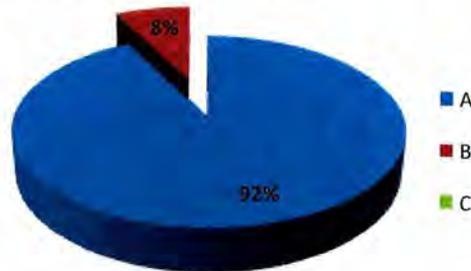


Fuente: Elaboración Propia

- **Edificación De Hormigón Reforzado**

**Figura 32.** Calidad del sistema en Hormigón.

Clasificación	Cantidad
A	73
B	6
C	0
<b>79</b>	



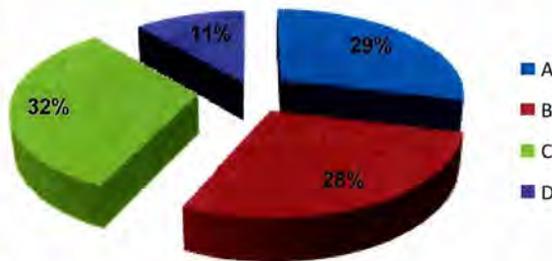
Fuente: Elaboración Propia

En las edificaciones en hormigón en su gran mayoría 92% de la totalidad, se observan ejecutadas con hormigón de buena consistencia, resistencia al rayado y en general bien ejecutadas.

- **Edificaciones de Tapia Pisada**

**Figura 33.** Calidad del sistema en Tapia Pisada.

Clasificación	Cantidad
A	101
B	99
C	112
D	40
<b>352</b>	



Fuente: Elaboración Propia

Es predominante en las edificaciones de la zona de estudio en Tapia pisada (71%) las deficiencias en la calidad del sistema resistente, en donde el 28% de las edificaciones presentan agrietamientos de tipo capilar o caída del pañete, un 32% presenta un estado de conservación mediocre y un 11% se encuentra en grave deterioro (figura 34).

**Figura 34.** Registro fotográfico, Edificaciones en Tapia pisada con deficiencias en el sistema como agrietamientos tipo capilar hasta grave deterioro de la estructura.



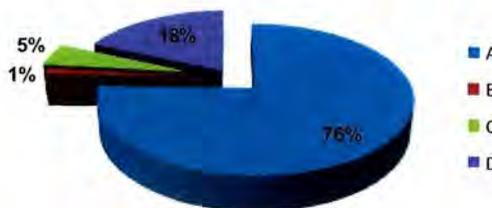
Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.5.3. Parámetro 4-Configuración en altura

**Figura 35.** Configuración en altura para edificaciones en Mampostería.

*Edificación en Mampostería*

Clasificación	Cantidad
A	2037
B	31
C	135
D	489
<b>2692</b>	



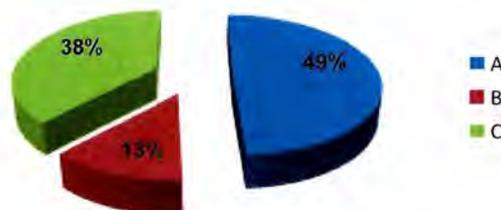
Fuente: Elaboración Propia

En las edificaciones en Mampostería predominan un 76% que presentan menos de un 10% en la disminución de las masas en los pisos consecutivos o son edificaciones de un piso.

**Figura 36.** Configuración en altura para edificaciones Hormigón.

*Edificación en Hormigón*

Clasificación	Cantidad
A	39
B	10
C	30
<b>79</b>	



Fuente: Elaboración Propia

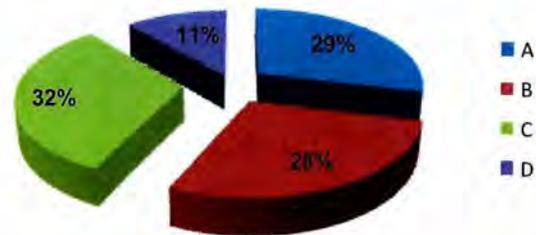
En la mayoría de los casos con un 87% las edificaciones en hormigón, no se presentan cambios considerables en la rigidez de un piso al otro, sin embargo el 13% de las edificaciones presentan disminución o aumentos en el área de los pisos, fenómeno de piso débil, o piso flexible.

**Figura 37.** Configuración en altura para edificaciones en Tapia Pisada.

Edificación en Tapia Pisada / Adobe

Clasificación	Cantidad
A	101
B	99
C	112
D	40

352



Fuente: Elaboración Propia

En el caso de las edificaciones en Tapia Pisada el 43% presenta cambios en la rigidez de un piso al otro, presentándose una disminución superior al 20% de las masas en los pisos consecutivos, o presentan aumentos en el área de los pisos.

#### 5.1.5.4. Parámetro 5-Ubicación de la edificación

**Figura 38.** Ubicación de la edificación.

Clasificación	Cantidad
A	2125
B	23
C	975

3123



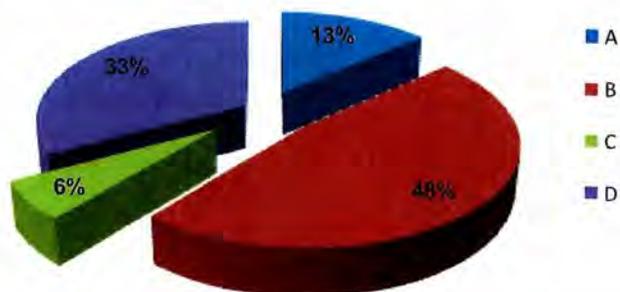
Fuente: Elaboración Propia

El 31% de las edificaciones están ubicadas sobre el talud o en su defecto no cumplen con los requerimientos de aislamiento. Sin embargo el 68% de las edificaciones están ubicadas fuera del talud, o con una pendiente menor de 30°, o que cumplen con los requerimientos de aislamiento.

### 5.1.5.5. Parámetro 6- Posición de la cimentación

Figura 39. Posición de la cimentación.

Clasificación	Cantidad
A	422
B	1484
C	188
D	1029



3123

Fuente: Elaboración Propia

En el 61% de las edificaciones, la cimentación no se encuentra a una misma cota, aspecto propio y muy relevante de las edificaciones ubicadas sobre taludes, característica que hace parte de los principales factores causantes de la problemática de estabilidad en la zona de estudio.

**Figura 40.** Registro fotográfico, Edificaciones cuya cimentación no se encuentra a una misma cota.

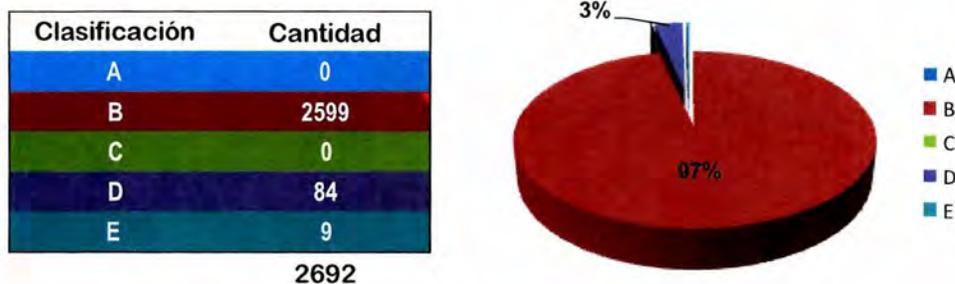


Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.5.6. Parámetro 7-Tipo de cimentación

- **Edificación de Mampostería**

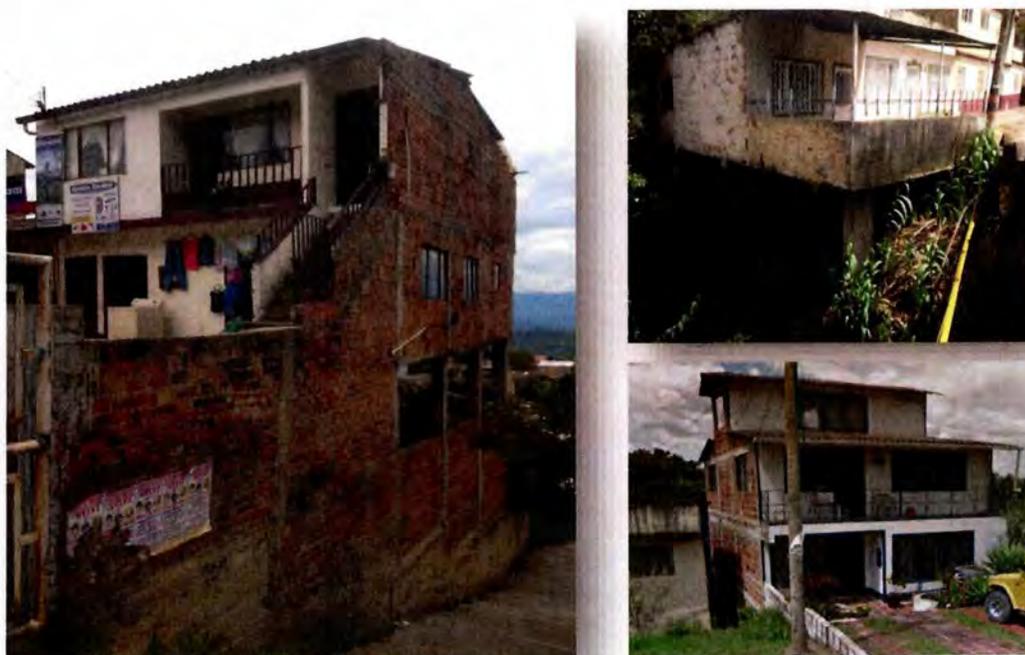
Figura 41. Cimentación de edificaciones en Mampostería.



Fuente: Elaboración Propia

En la zona es predominante la cimentación corrida en el caso de las edificaciones con algún tipo de confinamiento y sectores de baja pendiente; en el caso de edificaciones ubicadas a media ladera o sobre el talud, se observan cimentaciones sobre elementos esbeltos, tipo zancos.

Figura 42. Registro fotográfico, Edificaciones cimentadas sobre elementos esbeltos (tipo zancos).



Fuente: Elaboración Propia

- **Edificación de Hormigón Reforzado**

**Figura 43.** Cimentación de edificaciones en Hormigón.

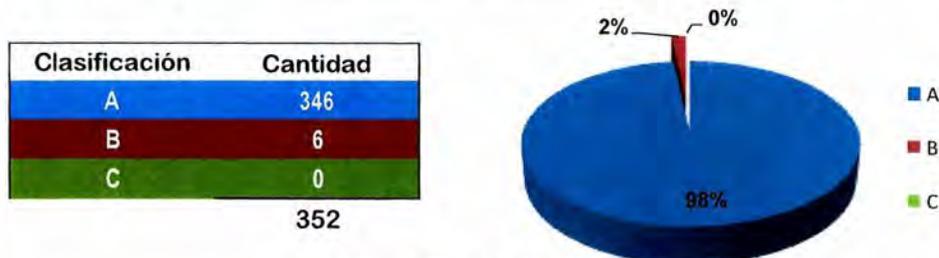


Fuente: Elaboración Propia

En las construcciones en Hormigón, predominan las edificaciones con zapatas con vigas de amarre en el 99% de los casos.

- **Edificación de Tapia Pisada**

**Figura 44.** Cimentación de edificaciones en Tapia Pisada.

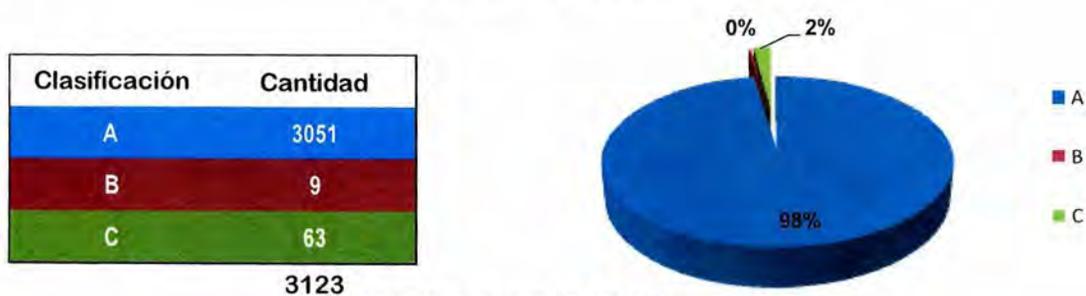


Fuente: Elaboración Propia

En la zona de estudio se observa que predomina la cimentación tipo corrida para el caso de las edificaciones en tapia pisada.

### 5.1.5.7. Parámetro 8-Tipo de suelo

**Figura 45.** Tipo de Suelo.

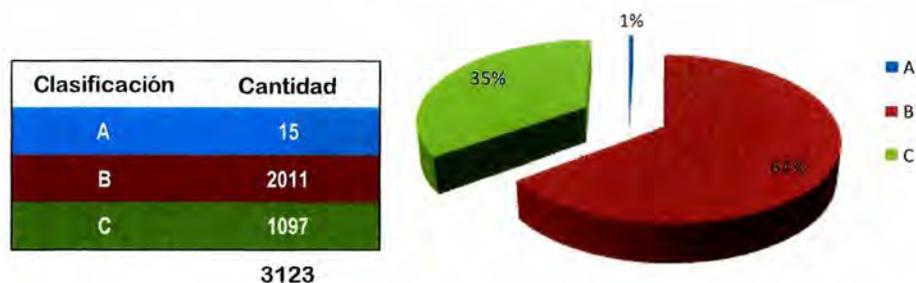


Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la información registrada en el levantamiento general se estimó que el suelo donde esta cimentada la edificación es un suelo firme en la mayoría de los casos y en un porcentaje muy pequeño en suelos blandos.

#### 5.1.5.8. Parámetro 9-Vegetación del sitio

Figura 46. Vegetación del sitio.

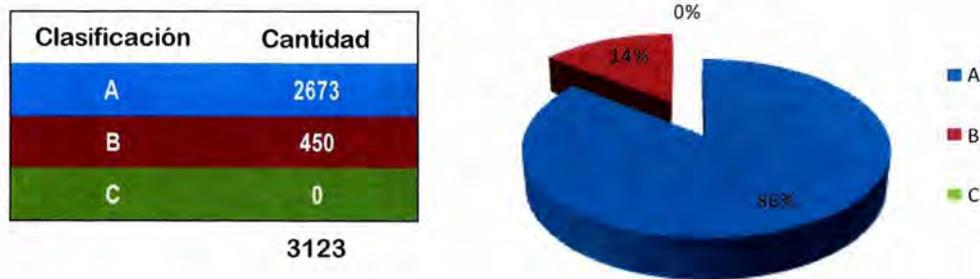


Fuente: Elaboración Propia

En un 64% de las edificaciones la densidad poblacional y la demanda habitacional ha dado lugar a que no se mantenga el entorno natural; sin embargo se conserva una pequeña parte de la vegetación natural del sitio; en el 35% de los casos, el sitio donde se construyó la edificación ha afrontado una transformación importante.

#### 5.1.5.9. Parámetro 10-Muros de contención

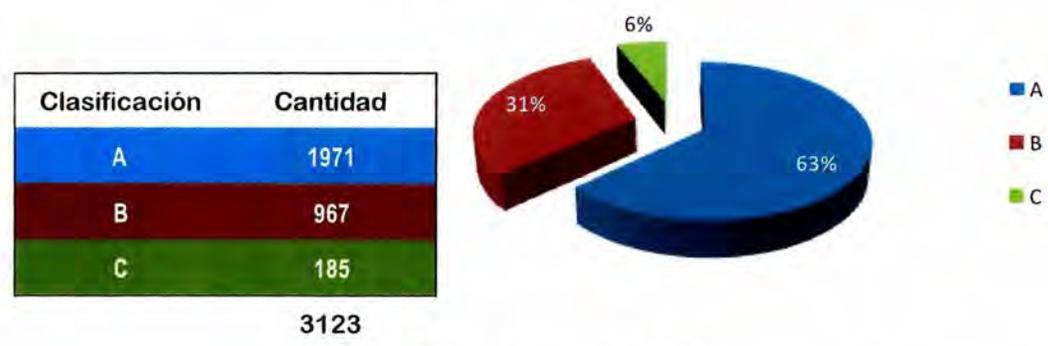
Figura 47. Muros de contención.



Fuente: Elaboración Propia

**5.1.5.10. Parámetro 11-Sistema de drenaje**

**Figura 48.** Sistema de drenaje.

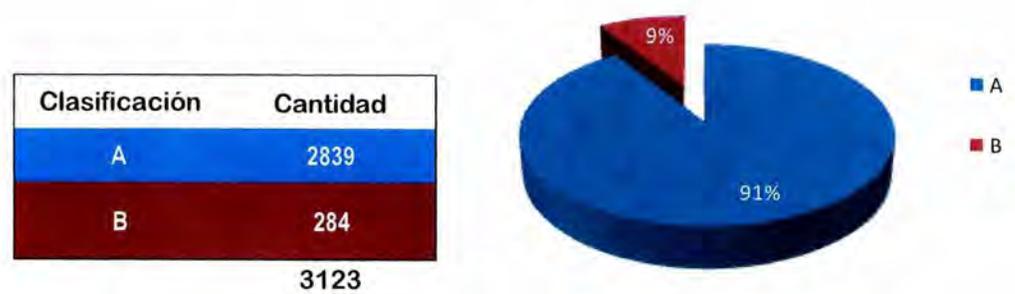


Fuente: Elaboración Propia

En gran parte de la zona se cuenta con un sistema de alcantarillado en el 65% de los casos, sin embargo el 6% de las edificaciones, el sistema de drenaje no es el adecuado o no existe, presentándose problemas de vertimientos directos sobre el talud.

**5.1.5.11. Parámetro 12-Manejo de basuras**

**Figura 49.** Manejo de basuras.

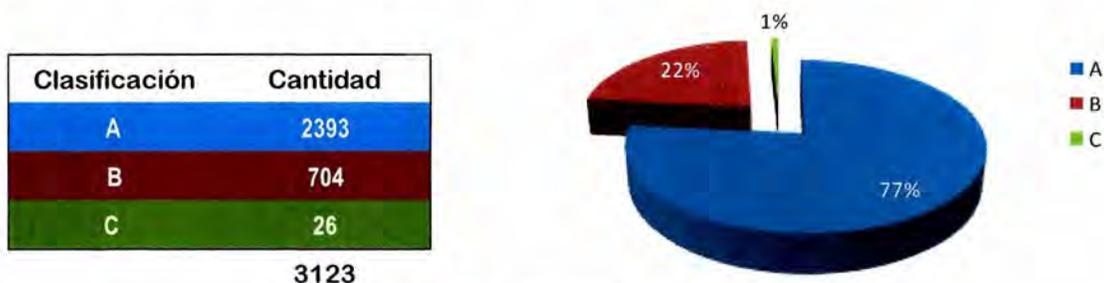


Fuente: Elaboración Propia

El 91% de las edificaciones cuentan con un sistema de recolección de basuras adecuado, realizando una apropiada disposición de las basuras junto con el sistema recolector, mientras que el 9% presenta dificultades con el manejo de las basuras, vertiéndolas directamente sobre la ladera adyacente.

### 5.1.5.12. Parámetro 13-Estado de conservación del entorno

Figura 50. Estado de conservación del entorno.



Fuente: Elaboración Propia

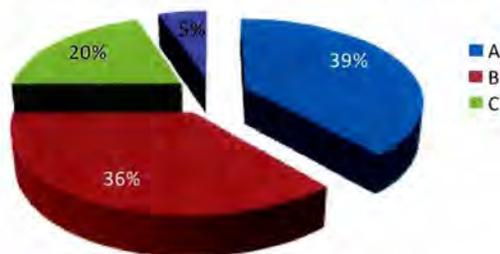
Se observó que el 77% de las edificaciones no presentan fugas en las redes de suministro ni en el alcantarillado. Sin embargo, el porcentaje restante presenta dificultades con la limpieza del sistema de drenaje o uniones rotas, escapes o filtraciones de agua en el suelo.

### 5.1.5.13. Parámetro 14-Estado de conservación de la edificación

Figura 51. Estado de conservación de las edificaciones en mampostería.

Edificación en Mampostería

Clasificación	Cantidad
A	1039
B	980
C	533
D	140
2692	



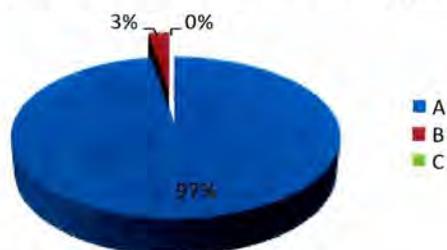
Fuente: Elaboración Propia

El 39% de las edificaciones en mampostería confinada, presentan una buena condición en sus muros sin fisuras visibles; el 56% se encuentran en estado mediocre o con fuerte deterioro de sus materiales

**Figura 52.** Estado de conservación de las edificaciones en Hormigón.

Edificación en Hormigón

Clasificación	Cantidad
A	77
B	2
C	0
<b>79</b>	



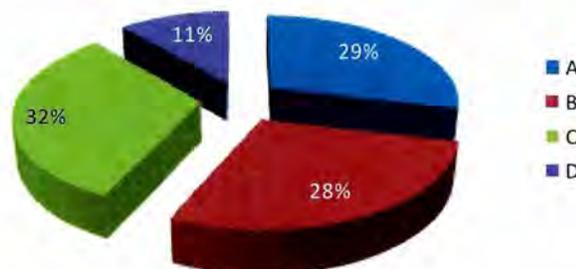
Fuente: Elaboración Propia

El 97% de las edificaciones en hormigón se encuentran en buenas condiciones, considerando que no presentan fisuras en los elementos estructurales ni daños en la cimentación.

**Figura 53.** Estado de conservación de las edificaciones en Tapia pisada.

Edificación en Tapia pisada / Adobe

Clasificación	Cantidad
A	101
B	99
C	112
D	40
<b>352</b>	



Fuente: Elaboración Propia

El 29% de las edificaciones en tapia pisada se encuentran en buenas condiciones sin daños visibles, el 44% de las edificaciones no se encuentran en buenas condiciones ya que presentan un estado mediocre o grave deterioro en su estructura.

### 5.1.6. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD ZONA URBANA

A partir de la evaluación de los 14 parámetros de la muestra total y basada en la información capturada en campo y de la aplicación del modelo de Índice de Vulnerabilidad propuesto se presenta a continuación los resultados obtenidos:



En la zona urbana y expansión urbana:

**Tabla 18.** Resultados Índice de Vulnerabilidad.

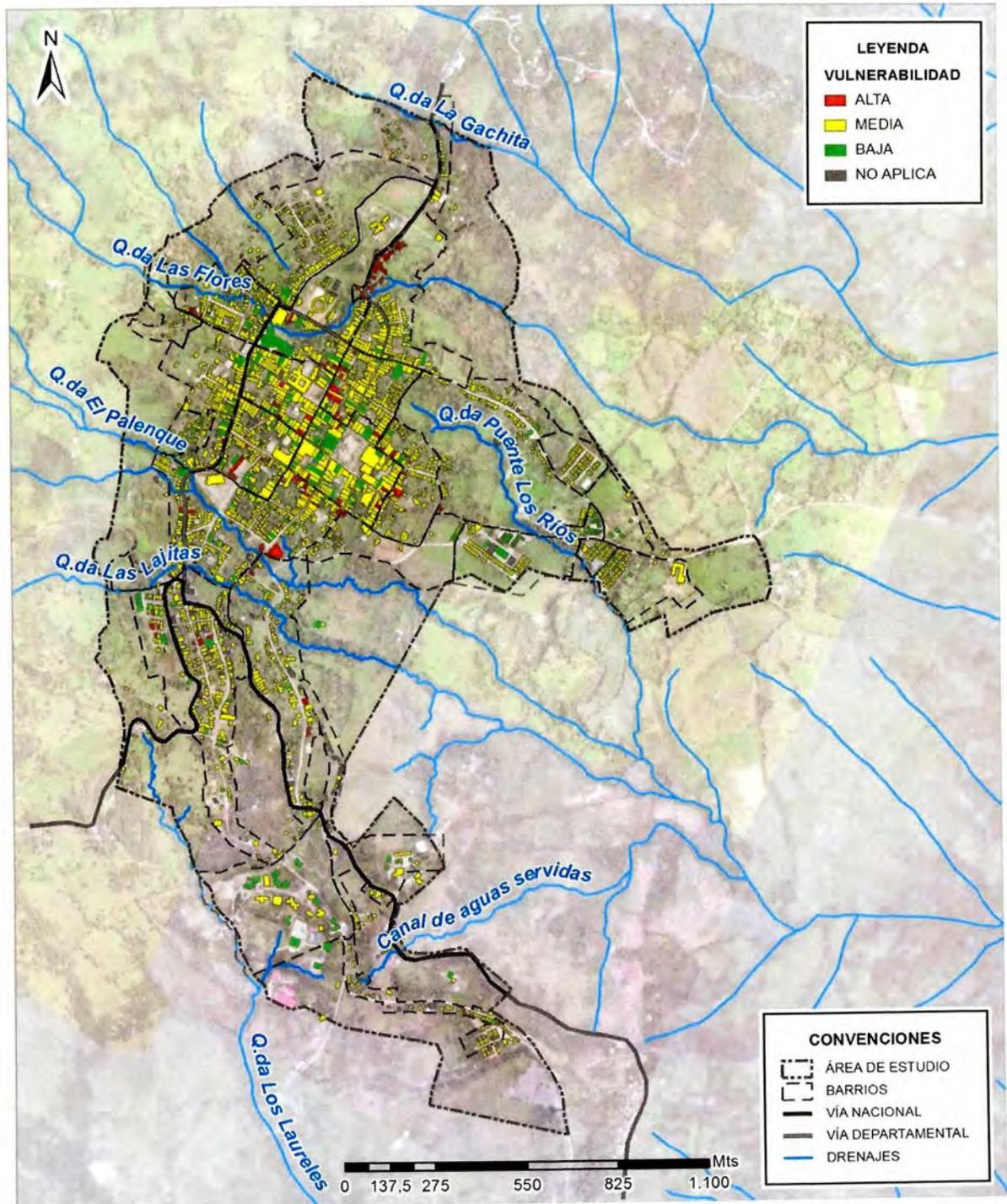
Categorización	No. Edificaciones	%
vulnerabilidad alta	142	4,16%
vulnerabilidad media	2536	74,35%
vulnerabilidad baja	306	8,97%
NO APLICA	427	12,52%
<b>TOTAL</b>	<b>3411</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración Propia

- Es de considerar que el **4.16%** de las edificaciones que fueron categorizadas con un índice de vulnerabilidad alto, presentan un deficiente sistema estructural, su sistema resistente está constituido con materiales de baja calidad y con procedimientos constructivos deficientes; su ubicación es en ladera o en zonas de deslizamiento o potencialmente inestables, en la corona o pie del talud sin cumplir las distancias de aislamiento requeridas; la cimentación está sobre suelos sueltos o apoyada sobre elementos esbeltos, evidencian filtraciones de agua en el suelo, rotura del suministro de agua o tubería de alcantarillado y en su estado de conservación general presenta graves daños y deterioro.
- En la zona urbana y de expansión urbana de Vélez, predominan las edificaciones con un grado de vulnerabilidad medio, con un **74.35%** de los casos, que muestran un comportamiento marcado con sistema estructural que presenta algunas deficiencias, sistema resistente constituido con materiales de baja o mediana calidad y con procedimientos constructivos deficientes; su ubicación es en ladera o en zonas potencialmente inestables, en la corona o pie del talud sin cumplir las distancias de aislamiento requeridas; cimentación deficiente o apoyada sobre elementos esbeltos; evidencian filtraciones de agua en el suelo, y su estado de conservación general presenta daños moderados, discontinuidades o deformaciones apreciables.
- El **8.97%** representa aquellas edificaciones que cuentan con sistema estructural en buenas condiciones y sin daños visibles; el sistema resistente está constituido con materiales de buena o mediana calidad y con procedimientos constructivos eficientes o aceptables; están ubicadas en zonas fuera del talud o cumplen con las distancias de aislamiento requeridas y su estado de conservación general es bueno sin discontinuidades, deformaciones o daños apreciables.



Figura 54. Mapa Índice de Vulnerabilidad Zona Urbana y expansión urbana (Plano U-27).



Fuente: Elaboración Propia



## 6. EVALUACIÓN DEL RIESGO

La evaluación del riesgo de las edificaciones ubicadas en la zona de estudio, se realiza con una estimación cualitativa, teniendo en cuenta el concepto de riesgo como una magnitud probable esperada de un determinado nivel de daño.

El Riesgo se define como la probabilidad de ocurrencia de un desastre en este caso un fenómeno de remoción en masa; se evalúa considerando las posibles pérdidas y daños físicos, económicos, sociales y ambientales que tendrían la posibilidad de presentarse en caso de un desastre.

Como una de las características más importantes del riesgo es el de considerar que es cambiante, se transforma, es decir tiene un comportamiento dinámico, que lo determinan las causas, las cuales pueden ser reconocibles.

El riesgo es resultado de la actuación de la sociedad en el municipio, que hacen que igualmente se dé la oportunidad de cambiarlo; aumentarlo o disminuirlo. Y sucede cuando coinciden bajo unas condiciones físicas naturales o antrópicas del territorio amenazante, al igual que las condiciones sociales del mismo como niveles de acción.

### 6.1. CATEGORIZACIÓN Y VALORIZACIÓN DEL RIESGO

El riesgo se da cuando en un determinado territorio coinciden la amenaza y la vulnerabilidad, sobre una comunidad. Por ello se hace necesario la evaluación de la relación entre las dos.

Considerando:

*La amenaza como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, sea de origen natural o generado por el hombre que tenga la capacidad de generar daños y pérdidas en un grupo social así como a los elementos físicos y ambientales asociados a este en una zona o territorio determinado.*

*La vulnerabilidad es la susceptibilidad de un grupo social de ser afectado por una amenaza y la capacidad de respuesta de sobreponerse luego de un evento.*

Para la evaluación del riesgo se tomó como base fundamental la información y evaluación de amenaza y vulnerabilidad obtenida del municipio y se evaluó para cada elemento expuesto al riesgo, como un valor del producto de la vulnerabilidad y la amenaza de la edificación.

La evaluación del riesgo se realizó según los resultados obtenidos de amenaza por remoción en masa y la evaluación de la vulnerabilidad para cada una de las edificaciones según el modelo propuesto (ver tabla 19).

**Tabla 19.** Clasificación de los grados de amenaza.

AMENAZA		
Clasificación de los grados de Amenaza		
Nada	1	BAJA
Poco	2	
Medianamente	3	MEDIA
Muy	4	
Absolutamente	5	ALTA

Fuente: Elaboración Propia

$$Riesgo = F (Amenaza * Vulnerabilidad)$$

Donde:

A: Amenaza categorizada en términos de amenaza por edificación (Alta, Media o Baja)

V: Vulnerabilidad categorizada como vulnerabilidad por edificación (Alta, Media o Baja)

La caracterización o categorización del riesgo de cada edificación y su representación cartográfica por niveles de riesgo alto, medio o bajo, se hizo aplicando la matriz de la tabla 20.

**Tabla 20.** Matriz de cruce de amenaza y vulnerabilidad para evaluación del riesgo.

MATRIZ DE CRUCE DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD				
CATEGORIAS		AMENAZA		
		ALTA	MEDIA	BAJA
VULNERABILIDAD	ALTA	ALTA	ALTA	MEDIA
	MEDIA	ALTA	MEDIA	BAJA
	BAJA	MEDIA	BAJA	BAJA

Fuente: Elaboración Propia

Al cruzar cada una de las categorías de amenaza y vulnerabilidad de las edificaciones bajo el criterio de la matriz de la tabla anterior, se obtiene la evaluación del riesgo.

## 6.2. EVALUACIÓN DEL RIESGO

La evaluación del riesgo se presenta como un resultado cualitativo del cruce de la amenaza con la vulnerabilidad ya indicados anteriormente, obteniéndose los resultados que aparecen en la tabla 21, para cuya representación gráfica (mapa de la figura 58), se emplearon las siguientes convenciones cartográficas:

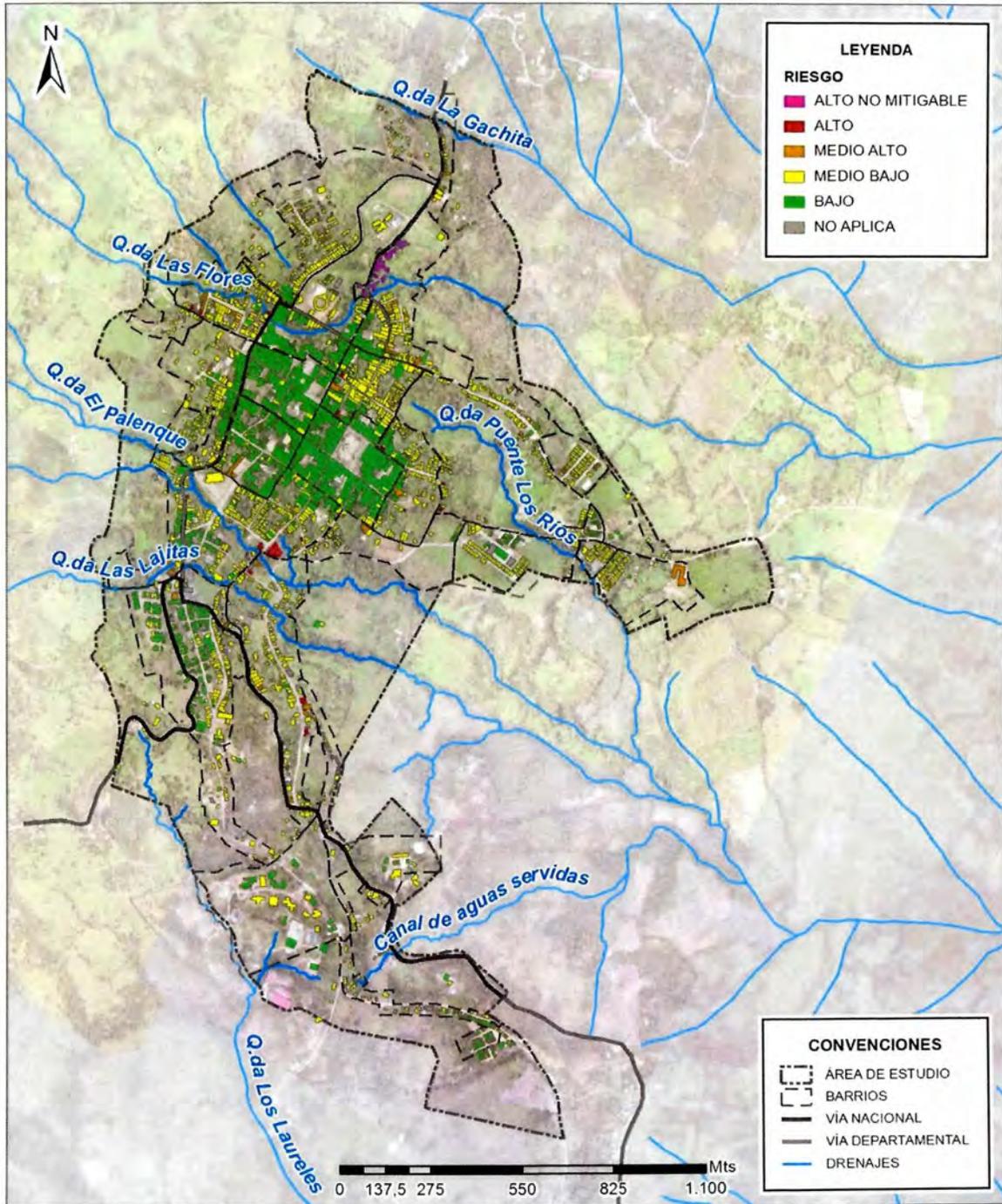
- Color fucsia Nivel de riesgo alto no mitigable
- Color rojo Nivel de riesgo alto mitigable
- Color amarillo Nivel de riesgo medio
- Color verde Nivel de riesgo bajo

**Tabla 21.** Resultados Evaluación del Riesgo Zona urbana y Suburbana, Municipio de Vélez.

<b>Categorización</b>	<b>No. Edificaciones</b>	<b>%</b>
<b>RIESGO ALTO</b>	<b>57</b>	<b>1,67%</b>
<b>Riesgo Medio</b>	<b>1891</b>	<b>55,44%</b>
<b>Riesgo Bajo</b>	<b>970</b>	<b>28,44%</b>
NO APLICA	426	12,49%
Edificaciones registradas por la comisión de campo Levantamiento de Campo ( fuera zona de estudio )	67	1,96%
<b>TOTAL</b>	<b>3411</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 55.** Mapa Evaluación del Riesgo Zona Urbana y Suburbana, Municipio de Vélez (Plano U-33).



Fuente: Elaboración Propia

### 6.2.1. RIESGO ALTO

En la zona urbana y suburbana del municipio de Vélez, el 1.67% de las edificaciones están categorizadas en riesgo alto; son edificaciones que presentan vulnerabilidad alta, y están ubicadas en zona de amenaza alta o media; presentan colapso parcial o total, con deterioro en sus elementos estructurales y no estructurales, con rotura de muros, destrucción o deterioro de sus acabados, roturas de tuberías, gran daño de entrepiso o cubierta y zonas próximas al colapso (ver figura 56).

Figura 56. Muestra de registro fotográfico de edificaciones categorizadas en Riesgo alto.



Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la evaluación realizada, se detectaron cincuenta y ocho (57) edificaciones en Riesgo alto en la zona urbana y suburbana; en estas edificaciones se encuentra un deficiente sistema estructural. El sistema resistente está constituido con materiales de baja calidad y con procedimientos constructivos no acordes a la norma sismo resistente NSR-10; su ubicación es en ladera o en zonas de deslizamiento activo o potencialmente inestables, o en área de influencia de fenómenos de remoción en masa; algunas están ubicadas en la corona o pie del talud sin cumplir las distancias de aislamiento requeridas, y presentan cimentaciones deficientes sobre suelos sueltos o apoyada sobre elementos esbeltos, evidencia de filtraciones de agua en el suelo, rotura del suministro de agua o tubería de alcantarillado y su estado de conservación general presenta graves daños y deterioros.

**Tabla 22.** Subdivisión de las edificaciones en Riesgo Alto.

Categorización	No. Edificaciones	%	RIESGO ALTO
Riesgo alto no mitigable	32	0,94%	
Riesgo alto mitigable	25	0,73%	

Fuente: Elaboración Propia

### 6.2.1.1. Riesgo alto no mitigable

Dentro de esta clasificación se encuentran las edificaciones afectadas ubicadas en la vía de salida hacia Chipatá, en suelos sueltos superficiales, niveles freáticos altos y mal manejo de las aguas superficiales. El material que genera la mayor parte de los problemas de inestabilidad en la zona corresponde precisamente a los limos arcillosos que se caracteriza por presentar baja resistencia y en presencia de agua tiende a comportarse como un fluido; el grado de amenaza y vulnerabilidad de las edificaciones compromete la estabilidad de las estructuras así como la seguridad de sus habitantes.

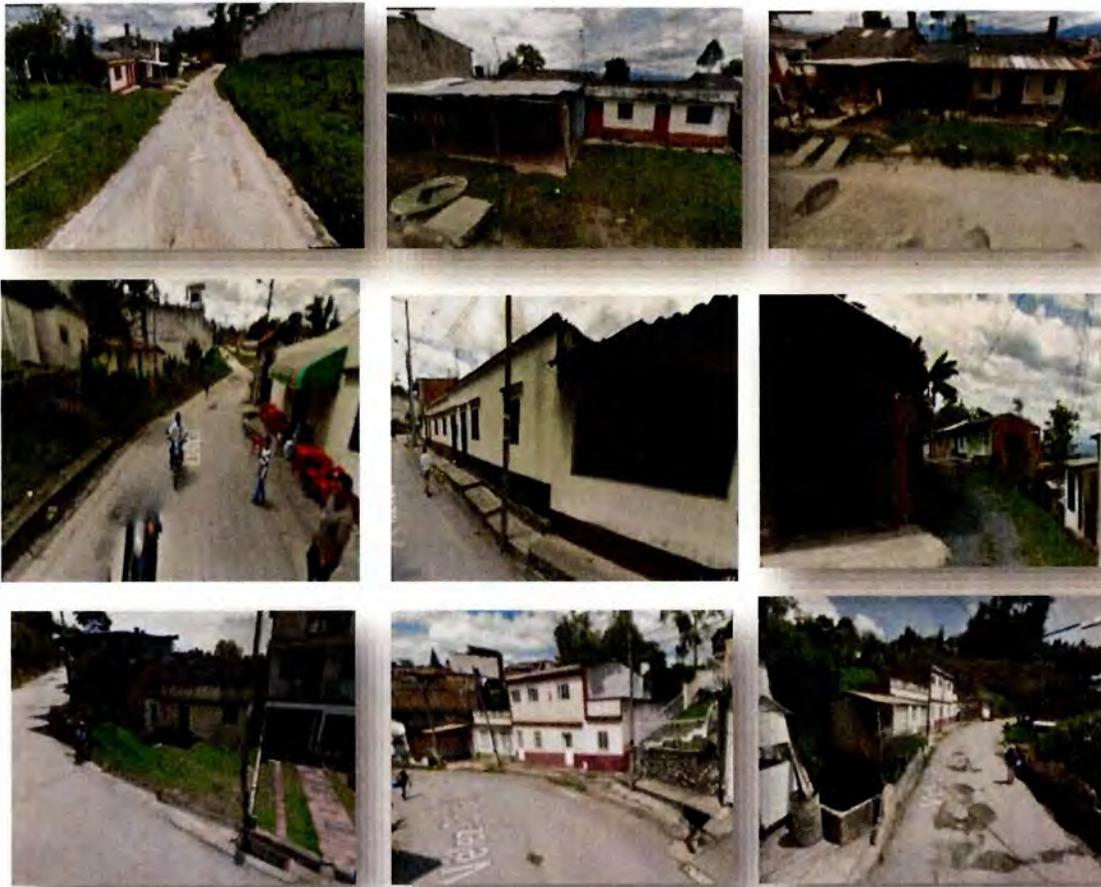
32 edificaciones están categorizadas en riesgo alto no mitigable, las cuales están ubicadas en esta zona del Barrio San Luis, algunas de las cuales se encuentran deshabitadas por su estado de colapso, agrietamientos y deterioro general (figuras 57 y 58).

**Figura 57.** Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto no mitigable.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 58.** Muestra de registro fotográfico de zona de edificaciones categorizadas en Riesgo alto no mitigable.

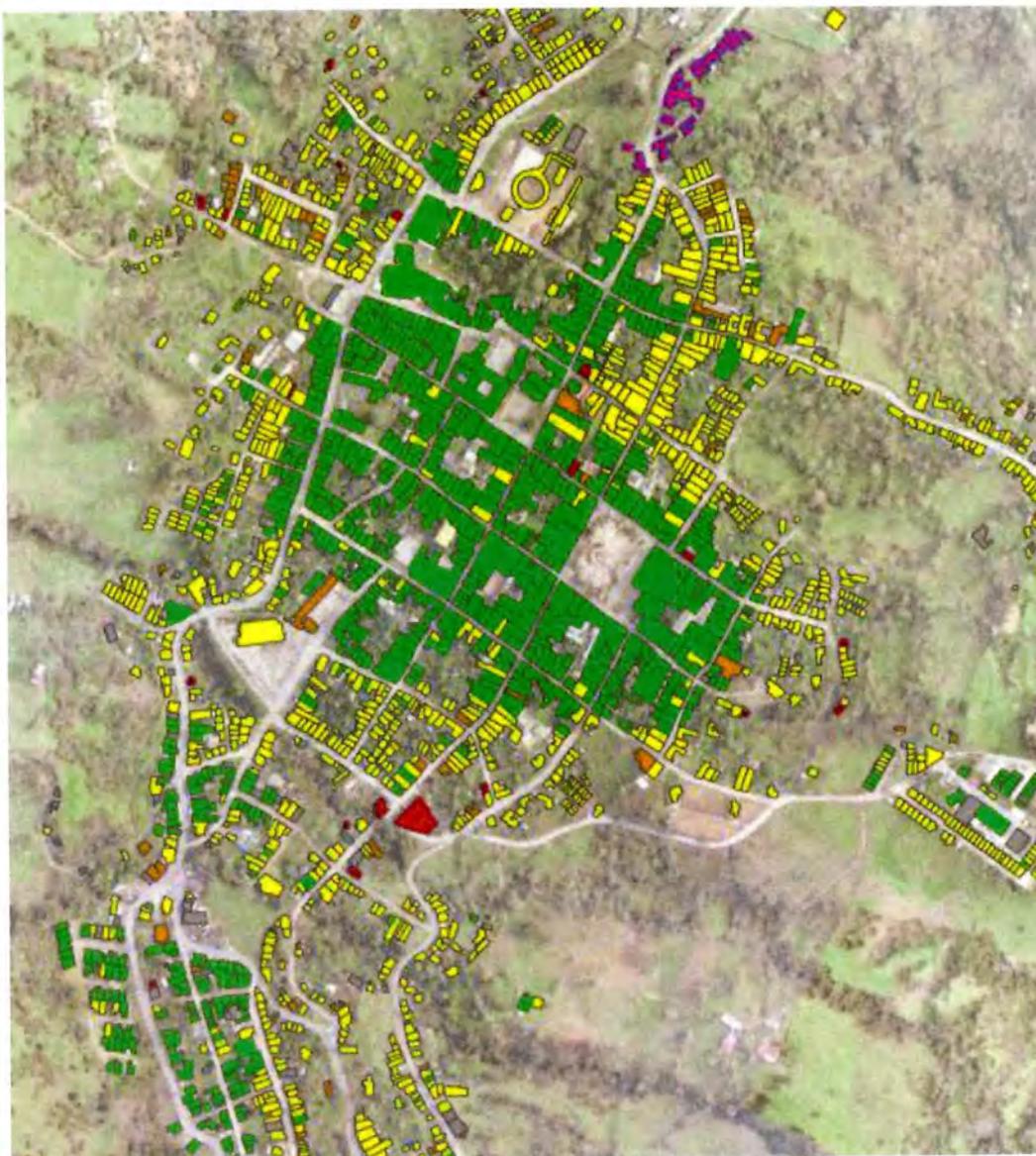


Fuente: Modificado de google maps

#### 6.2.1.2. Riesgo alto mitigable

Dentro de esta clasificación se encuentran las edificaciones afectadas por el efecto de remoción en masa ubicadas en zonas de deslizamiento activo o potencialmente inestable, o en área de influencia de fenómenos de remoción en masa y aquellas que por su deficiente sistema constructivo y deterioro compromete la estabilidad de la estructura de la edificación así como la seguridad de sus habitantes.

**Figura 59.** Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto mitigable, Zona Urbana y suburbana.



Fuente: Elaboración Propia

25 edificaciones están categorizadas en riesgo alto mitigable ubicadas en diferentes sectores de la zona urbana.

**6.2.1.2.1. Sector 1**

El Barrio Kennedy es una zona de amenaza nivel 4, categorizada como Media Alta; allí están ubicadas 4 edificaciones en Vulnerabilidad alta y Riesgo Alto, las cuales presentan daños generalizados con alto deterioro (figuras 60 y 61).

**Figura 60.** Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto mitigable, SECTOR 1/ Zona Urbana y suburbana.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 61.** Registro fotográfico SECTOR 1 edificaciones en Riesgo Alto mitigable.



Vista general de la zona 3, id 557



Ids 1156



id 1093



id 2841

Fuente: Elaboración Propia

### 6.2.1.2.2. Sector 2

El Barrio La Esperanza es una zona de amenaza nivel 3 categorizada como Media, en la que están ubicadas 2 edificaciones en Vulnerabilidad alta y Riesgo Alto, las cuales presentan daños generalizados con alto deterioro (figuras 62 y 63).

**Figura 62.** Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto mitigable, SECTOR 2.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 63.** Registro fotográfico SECTOR 2 edificaciones en Riesgo Alto mitigable.



Id 3035



id 3051

Fuente: Elaboración Propia

**6.2.1.2.3. Sector 3**

Comprende los barrios Aquileo Parra, Las Nieves, Centro y Palmira; es una zona de amenaza nivel 3 categorizada como Media. Hay ubicadas 4 edificaciones en Vulnerabilidad alta y Riesgo Alto, las cuales presentan daños generalizados con alto grado de deterioro (figuras 64 y 65).

**Figura 64.** Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto mitigable, SECTOR 3.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 65.** Registro fotográfico SECTOR 3 edificaciones en Riesgo Alto mitigable.



Id 528



id 1526



Id 1246



Id 191

Fuente: Elaboración Propia

### 6.2.1.2.4. Sector 4

El Barrio Palmira, es una zona de amenaza nivel 3 categorizada como Media. Se ubicaron 4 edificaciones en Vulnerabilidad alta y Riesgo Alto, las cuales presentan daños generalizados con alto grado de deterioro (figuras 66 y 67).

**Figura 66.** Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto mitigable, SECTOR 4.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 67.** Registro fotográfico SECTOR 4 edificaciones en Riesgo Alto mitigable.



Id 1500



Id 2750



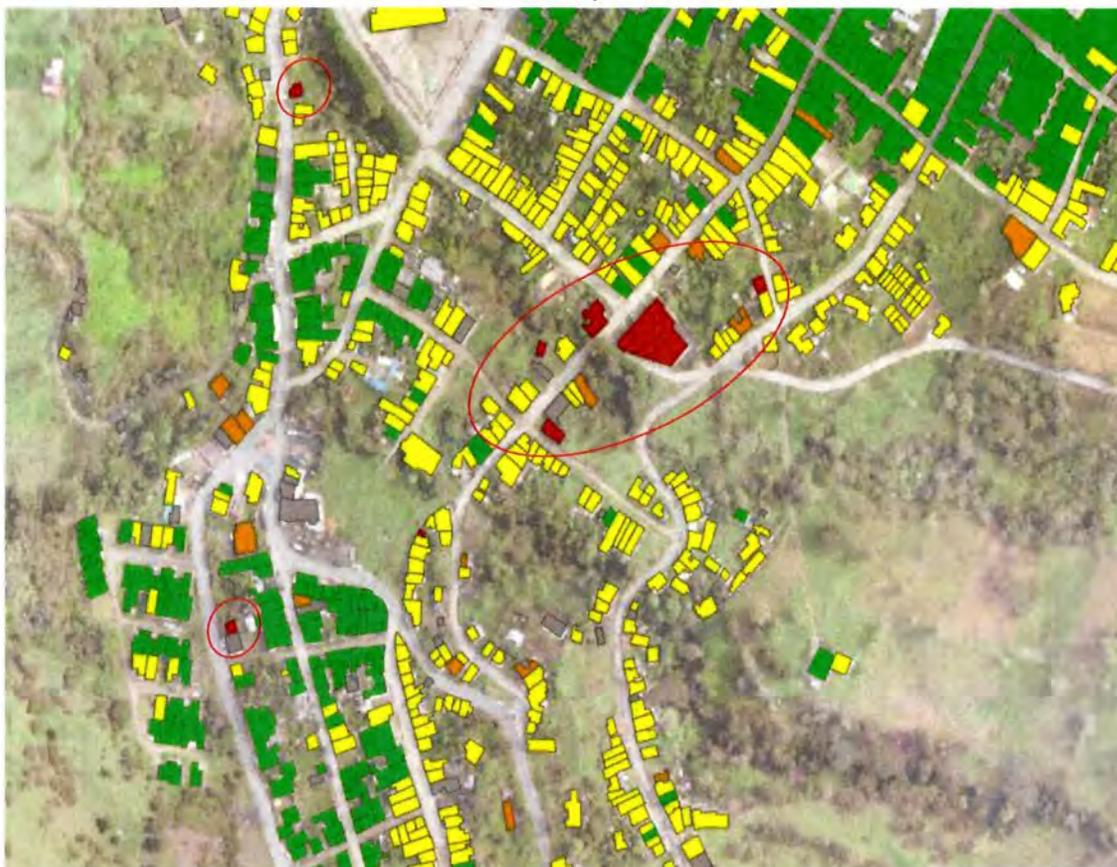
Id 497

Fuente: Elaboración Propia

#### 6.2.1.2.5. Sector 5

Zona de amenaza nivel 4 categorizada como Media alta; se encontraron 7 edificaciones en Vulnerabilidad alta y Riesgo Alto, las cuales presentan daños generalizados con alto deterioro (figuras 68 y 69).

**Figura 68.** Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto mitigable, SECTOR 5/ Zona Urbana y suburbana.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 69.** Registro fotográfico SECTOR 5 edificaciones en Riesgo Alto mitigable.



Id 869



Id 1027



Id 2257



Id 3115



Id 814



Id 867



Id 1156

Fuente: Elaboración Propia

### 6.2.1.2.6. Sector 6

Zona de amenaza nivel 4, categorizada como Media alta; están ubicadas 3 edificaciones en Vulnerabilidad alta y Riesgo Alto, las cuales presentan daños generalizados con alto grado de deterioro (ver figuras 70 y 71).

**Figura 70.** Ubicación edificaciones categorizadas en Riesgo alto mitigable, SECTOR 6.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 71.** Registro fotográfico SECTOR 6 edificaciones en Riesgo Alto mitigable.



Fuente: Elaboración Propia

Las edificaciones en riesgo alto mitigable se subdividieron con la finalidad de orientar los lineamientos de intervención en las edificaciones de acuerdo a su condicionamiento y estado.

- Edificaciones afectadas por el efecto de remoción en masa, con sistema constructivo y ubicación deficientes.



- Edificaciones en deteriorado estado, producto de su deficiente sistema constructivo sin influencia de efecto de remoción en masa a las cuales no se les ha realizado mantenimiento ni mejoramiento a través del tiempo.

#### 6.2.1.2.7. Casos especiales

- **Riesgo alto mitigable por remoción en masa**

En las edificaciones en alto riesgo detectadas, se encuentran 9 edificaciones, (id557, id814, id867, id1156, id1614, id1622, id1623, id2762, id2794,) las cuales presentan vulnerabilidad alta, están ubicadas en zona de amenaza media; en zonas de influencia del fenómeno de remoción en masa, presenta colapso parcial o total, con deterioro en sus elementos estructurales y no estructurales, con rotura de muros, destrucción o deterioro de sus acabados, algunas con roturas de tuberías, gran daño de entrepiso o cubierta y zonas próximas al colapso.

- **Riesgo alto mitigable por vulnerabilidad sísmica alta**

En las edificaciones en alto riesgo detectadas, se encuentran 17 edificaciones, ( id191, id497, id505, id528, id819, id869, id1027, id1093, id1246, id1500, id1526, id2257, id2750, id2841, id3035, id3051, id3115) las cuales presentan vulnerabilidad alta, están ubicadas en zona de amenaza media o baja; presenta colapso parcial o total, con deterioro en sus elementos estructurales y no estructurales, con rotura de muros, destrucción o deterioro de sus acabados, algunas con roturas de tuberías, gran daño de entrepiso o cubierta y zonas próximas al colapso. Los daños generalizados que presentan ponen en peligro la estabilidad de la estructura y la seguridad de sus habitantes por su deteriorado estado, en colapso parcial o total debido al sistema constructivo deficiente y/o ubicación inadecuada, más no a efectos de remoción en masa; por lo que se categorizan en alto riesgo por su deficiente capacidad sismo- resistentes ante un posible evento.

### 6.2.2. RIESGO MEDIO

En la zona urbana y suburbana del municipio de Vélez predominan las edificaciones en Riesgo medio, con un **55.44 %**, presentan vulnerabilidad alta o media y están ubicadas en zona de amenaza media; pueden evidenciar o no discontinuidades o deformaciones por plastificación considerable de los elementos estructurales, los agrietamientos y daños son moderados con grietas o fisuras extendidas en muros, entrepisos y cubiertas, puede presentar potencial colapso de elementos estructurales considerando que su sistema estructural, ubicación, cimentación y calidad del suelo presentan deficiencia.

**Figura 72.** Muestra de registro fotográfico de edificaciones categorizadas en Riesgo medio.



Fuente: Elaboración Propia

En la categoría de Riesgo medio se realizó una subdivisión en Riesgo medio alto y Riesgo medio bajo, con la finalidad de orientar los lineamientos de intervención en las edificaciones de acuerdo a su condicionamiento y estado.

**Figura 73.** Subdivisión de la categorización para riesgo medio.

Riesgo medio alto	119	3,49%
Riesgo medio bajo	1772	51,95%

Fuente: Elaboración Propia

- Las edificaciones en Riesgo medio alto son edificaciones con daños de consideración a las cuales se les debe realizar rehabilitación o mejoramiento.
- En el caso de las edificaciones en Riesgo medio bajo necesita algunas medidas de reparación ya que presentan daños leves, o por sus condiciones de sistema estructural ubicación y demás deben estar en control



Es así como la categorización de Riesgo medio debe ser de control y seguimiento para evitar el aumento del riesgo.

### 6.3. TABLA RESUMEN DE RESULTADOS

En los Anexos IX-1, IX-2 y IX-3 se reporta la descripción de las características más representativas de las edificaciones estudiadas, se incluye además su ubicación, registro fotográfico para su debida identificación y la categorización de vulnerabilidad, amenaza y riesgo correspondiente a cada una de ellas.

El Anexo IX-1 comprende las construcciones en riesgo alto por efecto de remoción en masa. El Anexo IX-2 corresponde a las edificaciones en riesgo alto debido a deficiencias en el sistema constructivo, mas no a efectos de remoción en masa. Finalmente, el Anexo IX-3 expone los inmuebles encontrados en riesgo medio.

## 7. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL

Para estudiar el comportamiento estructural de las edificaciones se elaboró un modelo lineal de elementos finitos usando muros de mampostería confinados con marcos de concreto reforzados. El modelo se ejecutó con la herramienta SAP2000 (versión 16.0.0). Las vigas, viguetas, columnas, columnetas fueron modelados como elementos FRAME y los muros con elementos SHELL THIN.

Basados en la información de campo de las edificaciones de la muestra representativa, se realizó una caracterización de las edificaciones según el sistema constructivo, cuya finalidad es la evaluación del comportamiento estructural de las edificaciones frente a fenómenos de remoción en masa.

### 7.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA TIPO

En la zona de estudio se presentan edificaciones que varían de 1 a 6 pisos sin embargo predominan las edificaciones de 1, 2 y 3 pisos. Los sistemas estructurales en su gran mayoría son en mampostería confinada, Hormigón reforzado y Tapia pisada / Adobe.

En los casos de Mampostería Confinada se observa sistemas de muros de mampostería sin confinamiento, mampostería confinada en todos los pisos, mampostería únicamente con columnas de confinamiento y sistemas que combinan los anteriormente nombrados en los diferentes niveles.

En algunos casos las viviendas tienen proyectada la construcción de más niveles, ya que presentan una cubierta de placa rígida, en la cual se puede observar el acero proveniente de las columnas sobresaliendo de la placa. Las demás viviendas cuentan con una cubierta blanda (cubierta de eternit).

Para el caso de las edificaciones en Tapia pisada, la mayoría de las edificaciones cuentan con dos pisos con diafragma en madera. Sin embargo, en el caso de las edificaciones de un piso cuentan con cubierta liviana en teja de asbesto cemento (47%), cubierta pesada en teja de barro (40%), en menor proporción cubierta en teja de zinc (11%).

#### 7.1.1. EDIFICACIONES REPRESENTATIVAS DE LA MUESTRA

##### 7.1.1.1. Edificación 1: Barrio: Centro

Edificación de dos niveles ubicada sobre un terreno considerablemente plano. La estructura originalmente en tapia pisada, con más de 500 años de construcción según el propietario del predio, presenta unas modificaciones posteriores en su estructura, por lo cual se detalla que posee además muros en mampostería H-15 y columnas de 20x20cm en su gran mayoría, con entrepiso en madera, vigas cargueras en el mismo material y de un espesor

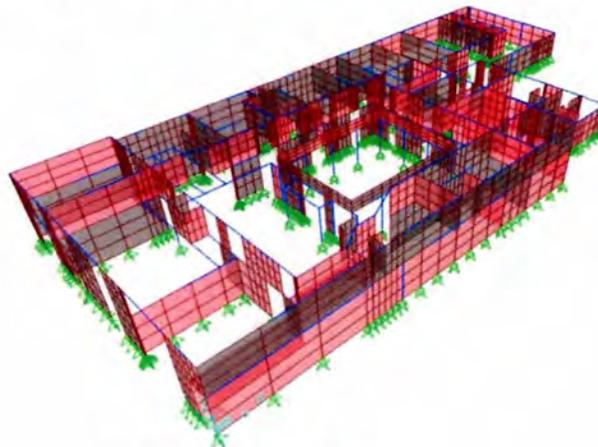
promedio de 20cm. Su cubierta consiste en tendido de caña con capa de tierra donde se apoya la teja de barro, según información registrada en campo (figuras 74 y 75).

**Figura 74.** Registro fotográfico Edificación Barrio Centro. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 75.** Modelo en Sap2000. Barrio Centro. Modelamientos estructural.



Fuente: Elaboración Propia

### 7.1.1.2. Edificación 2: Barrio San Luis

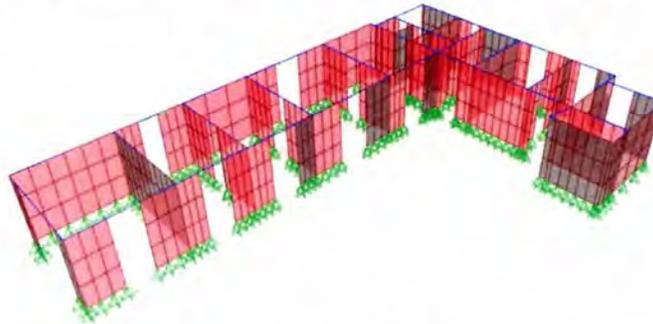
Edificación de un (1) nivel ubicada sobre un talud local de pendiente entre 30° a 45°. La estructura principal es en tapia pisada, con una antigüedad mayor a 200 años, a la que posteriormente con el tiempo se realizaron modificaciones y adiciones en mampostería ladrillo H-15. Por poseer solo un piso, no tiene entrepiso. Su cubierta consiste en tendido de caña con capa de tierra donde se apoya la teja de barro, según formularios (figuras 76 y 77).

**Figura 76.** Registro fotográfico Edificación Barrio San Luis. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 77.** Modelo en Sap2000 Barrio San Luis. Modelamientos estructural.



Fuente: Elaboración Propia

### 7.1.1.3. Edificación 3: Barrio San Luis

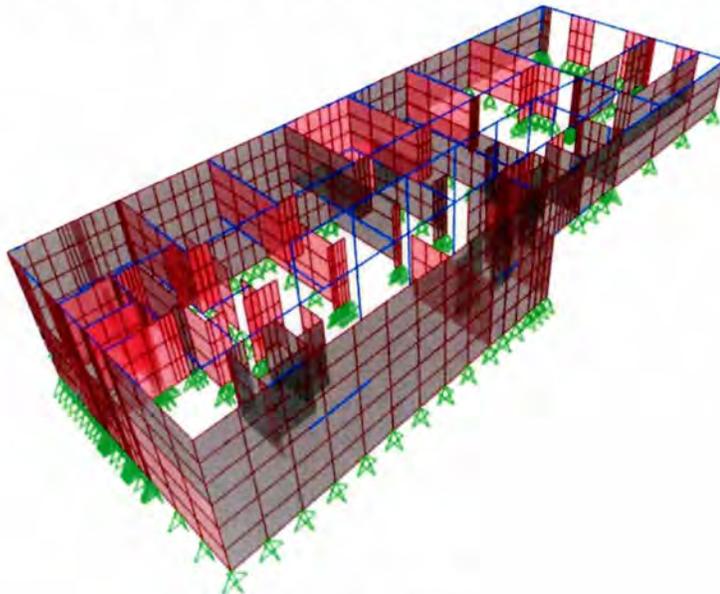
Edificación de un (1) nivel visto frontalmente, pero lateralmente son dos (2) niveles, con un nivel enterrado sobre un talud local de pendiente entre  $30^\circ$  a  $45^\circ$ . La estructura principal es en mampostería pobremente confinada, dado a que aparecen columnetas sin vigas de confinamiento en muy pocos sectores. Estas columnetas son en promedio de  $25 \times 25$  cm. El entrepiso fue construido en placa maciza de 10 cm de espesor en concreto. Su cubierta consiste en tendido de caña con capa de tierra donde se apoya la teja de barro, según formularios (figuras 78 y 79).

**Figura 78.** Registro fotográfico Barrio San Luis. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 79.** Modelo en Sap2000 Barrio San Luis.



Fuente: Elaboración Propia

#### 7.1.1.4. Edificación 4: Barrio Santander

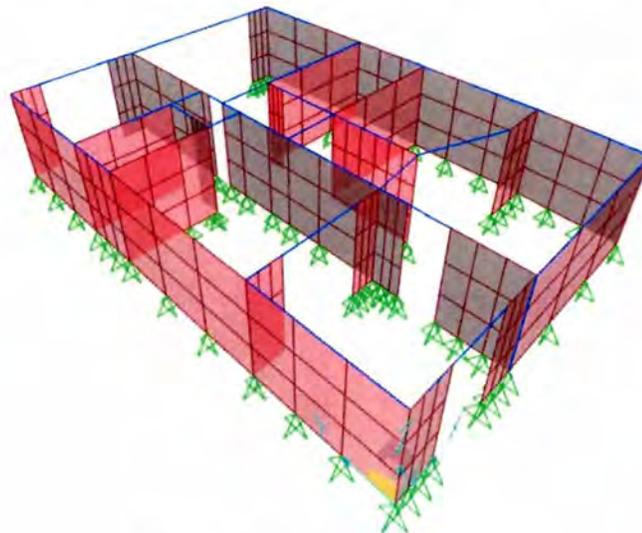
Edificación de un (1) nivel sobre un talud local de pendiente entre  $30^\circ$  a  $45^\circ$ . La estructura principal es de mampostería en ladrillo H-10 sin confinamiento, dado que en toda la estructura no se encuentra ni columnas ni vigas de confinamiento. Dado que la estructura es de un (1) piso, no posee entrepiso. Su cubierta consiste en tendido de caña con capa de tierra donde se apoya la teja de barro, según formularios (figuras 80 y 81).

**Figura 80.** Registro fotográfico Barrio Santander. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 81.** Modelo en Sap2000 Barrio Santander. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

### 7.1.1.5. Edificación 5: Barrio Reino Unido

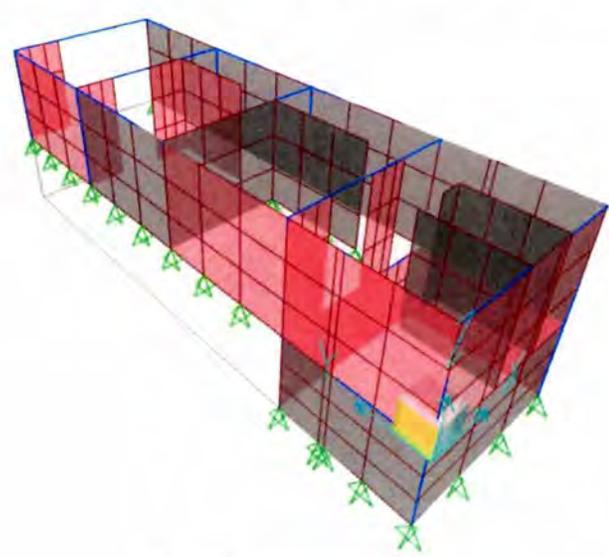
Edificación de un (1) nivel visto frontalmente, pero lateralmente son dos (2) niveles, con un nivel enterrado sobre un talud local de pendiente entre 30° a 45°. La estructura principal es en mampostería casi en su totalidad confinada, usando columnas y vigas de confinamiento en promedio de 25x25cm. El tipo de ladrillo predominante en la mampostería es el H-10. El entrepiso fue construido en placa maciza de 15cm de espesor en concreto. Su cubierta consiste en tendido de caña con capa de tierra donde se apoya la teja de barro, según formularios (figura 82 y 83).

Figura 82. Registro fotográfico Barrio Reino Unido Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 83. Modelo en Sap2000 Barrio Reino Unido. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

### 7.1.1.6. Edificación 6: Barrio Francisco Benavides

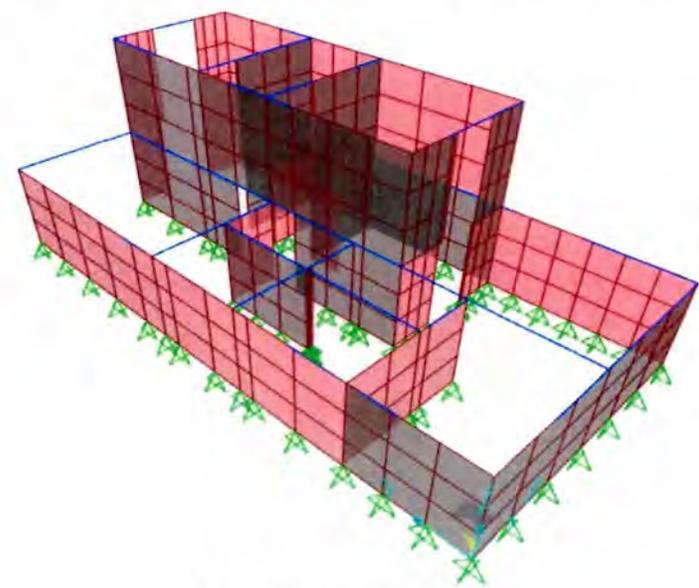
Edificación de dos (2) niveles sobre un talud local de pendiente menor a 30°. La estructura principal es en mampostería en ladrillo H-10 sin ningún tipo de confinamiento, dado que en toda la estructura no se encuentra ni columnas ni vigas de confinamiento. Posee un entrepiso en placa maciza de espesor de 10cm en concreto reforzado. Su cubierta consiste en tendido de caña con capa de tierra donde se apoya la teja de barro, según formularios. Los materiales usados en la construcción parecen de buena calidad, pero no conservan una homogeneidad constructiva (figuras 84 y 85).

Figura 84. Registro fotográfico Barrio Francisco Benavides. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 85. Modelo en Sap2000 Barrio Francisco Benavides. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

### 7.1.1.7. Edificación 7: Barrio Francisco Benavides

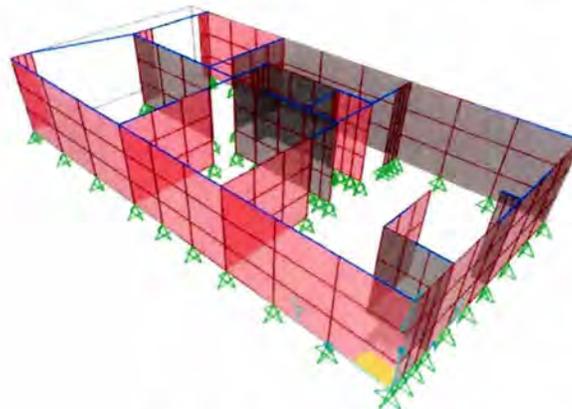
Edificación de un (1) nivel sobre un talud local de pendiente menor a  $30^\circ$ , por lo que se puede considerar planar. La estructura principal es en mampostería en ladrillo H-10 sin confinamiento, dado que en toda la estructura no se encuentra ni columnas ni vigas de confinamiento. Dado que la estructura es de un (1) piso, no posee entrepiso. Su cubierta consiste en tendido de caña con capa de tierra donde se apoya la teja de barro, según formularios (figuras 86 y 87).

**Figura 86.** Registro fotográfico Barrio Francisco Benavides. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 87.** Modelo en Sap2000 Barrio Francisco Benavides. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

### 7.1.1.8. Edificación 8: Barrio Aquileo Parra

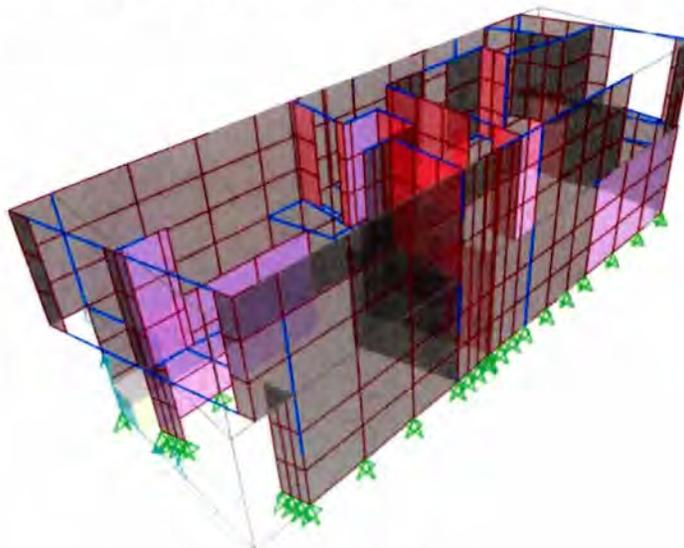
Edificación de dos (2) niveles sobre un talud local de pendiente entre  $30^\circ$  a  $45^\circ$ . La estructura principal es un pórtico en concreto reforzado, con columnas de  $30 \times 30 \text{cm}$  y vigas de  $25 \times 25 \text{cm}$ . En este caso se puede confundir con una mampostería confinada, dado que los muros dan la impresión de estar pegados a los pórticos y no se dejaron juntas de dilatación. Posee un entrepiso en placa aligerada de espesor de  $20 \text{cm}$  en concreto reforzado. Su cubierta en una placa aligerada de  $20 \text{cm}$ , la cual es usada como terraza. Los materiales usados en la construcción dan la impresión de mala calidad, sin homogeneidad entre sus piezas o componentes constructivos (ver figuras 88 y 89).

**Figura 88.** Registro fotográfico Barrio Aquileo Parra. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 89.** Modelo en Sap 2000 Barrio Aquileo Parra. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

### 7.1.1.9. Edificación 9. Barrio Kennedy

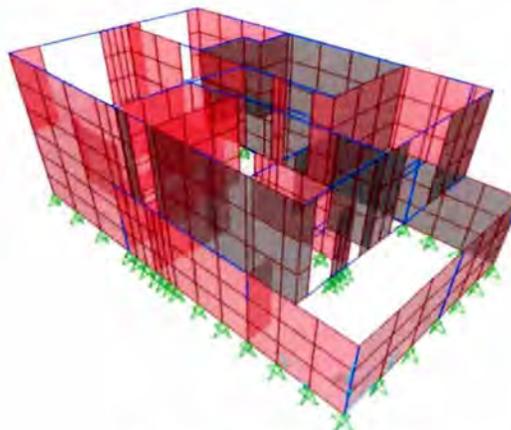
Edificación de dos (2) niveles sobre un talud local de pendiente entre  $30^\circ$  a  $45^\circ$ . La estructura principal en el primer nivel es un pórtico en concreto reforzado, con columnas de  $25 \times 25 \text{cm}$  y vigas de  $25 \times 25 \text{cm}$ . En el segundo nivel la estructura cambia a una mampostería (ladrillo H-15) con algún confinamiento, pero no en todos los sectores. En este caso se puede confundir con una mampostería confinada, dado que los muros dan la impresión de estar pegados a los pórticos y no se dejaron juntas de dilatación. Posee un entrepiso en placa aligerada de espesor de  $20 \text{cm}$  en concreto reforzado. Su cubierta en una placa aligerada de  $20 \text{cm}$ , la cual es usada como terraza. Los materiales usados en la construcción son de buena calidad, con homogeneidad entre sus componentes constructivos y buen ligamento (figura 90 y 91).

**Figura 90.** Registro fotográfico Barrio Kennedy. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 91.** Modelo en Sap 2000 Barrio Kennedy. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

### 7.1.1.10. Edificación 10: Cra 7a No 11-50

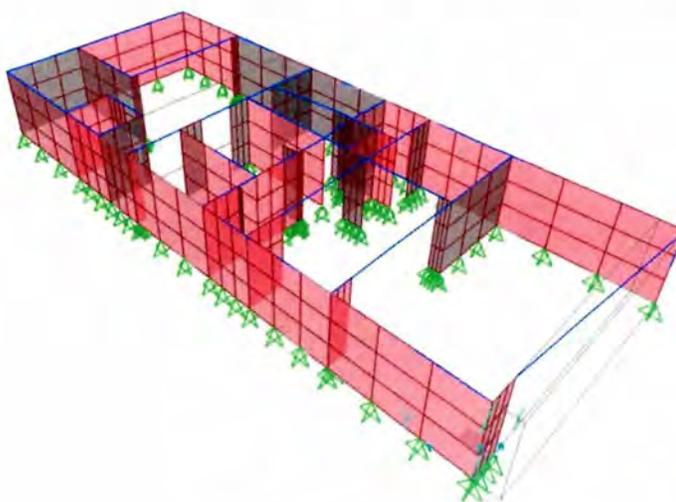
Edificación de un (1) nivel sobre un talud local de pendiente entre  $30^\circ$  y  $45^\circ$ . La estructura principal es en mampostería en ladrillo H-10 sin ningún tipo de confinamiento, dado que en toda la estructura no se encuentra ni columnas ni vigas de confinamiento. Dado que la estructura es de un (1) piso, no posee entrepiso. Su cubierta consiste en tendido de caña con capa de tierra donde se apoya la teja de barro, según formularios (figuras 92 y 93).

**Figura 92.** Registro fotográfico Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 93.** Modelo en Sap 2000 Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

### 7.1.1.11. Edificación 11: Barrio Los Cerezos

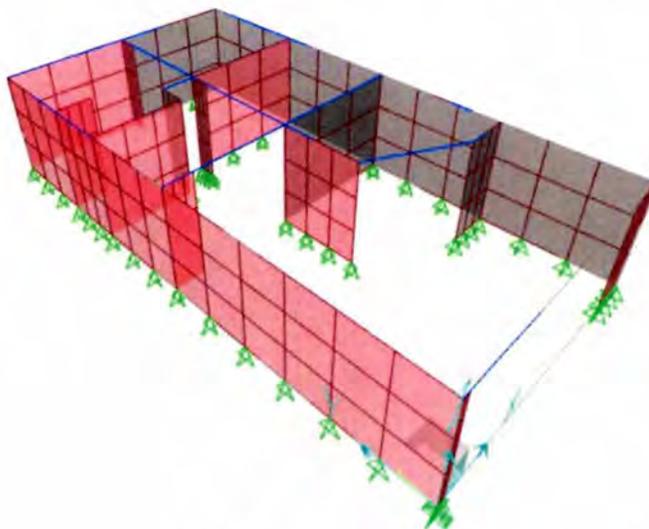
Edificación de un (1) nivel sobre un talud local de pendiente entre  $30^\circ$  y  $45^\circ$ . La estructura principal es en mampostería en ladrillo H-10 sin ningún tipo de confinamiento, dado que en toda la estructura no se encuentra ni columnas ni vigas de confinamiento. Dado que la estructura es de un (1) piso, no posee entrepiso. Su cubierta consiste en tendido de caña con capa de tierra donde se apoya la teja de barro, según formularios (figuras 94 y 95).

**Figura 94.** Registro fotográfico Vda Tuvavita. Barrio Los Cerezos Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 95.** Modelo en Sap 2000 Edificación Vda Tuvavita. Barrio Los Cerezos Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

### 7.1.1.12. Edificación 12: Barrio El Campin

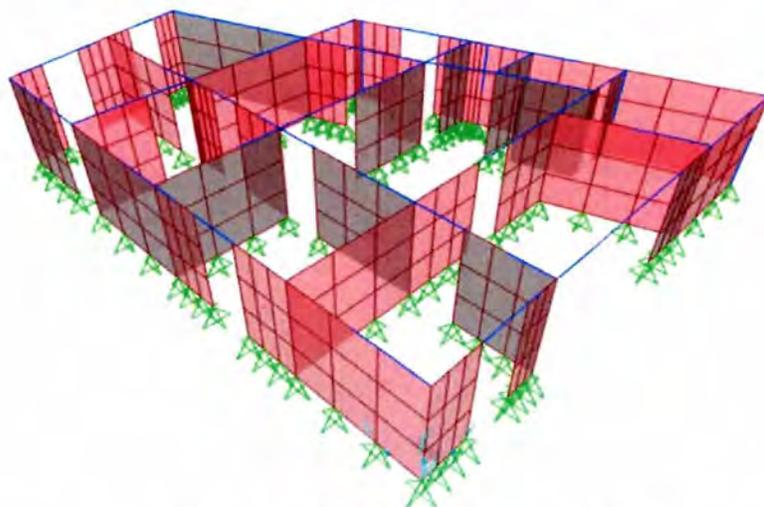
Edificación de un (1) nivel sobre un talud local de pendiente entre 30° y 45°. La estructura principal es en mampostería en ladrillo H-15 sin ningún tipo de confinamiento, dado que en toda la estructura no se encuentra ni columnas ni vigas de confinamiento. Esta estructura en planta tiene una configuración irregular, debida a que no tiene ejes paralelos en el sentido Y. Dado que la estructura es de un (1) piso, no posee entrepiso. Su cubierta consiste en tendido de caña con capa de tierra donde se apoya la teja de barro, según formularios (figuras 96 y 97).

Figura 96. Registro fotográfico Barrio El Campin Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 97. Modelo en Sap 2000 Barrio El Campin.



Levantamiento Detallado Fuente: Elaboración Propia

### 7.1.1.13. Edificación 13: Barrio Ricaurte

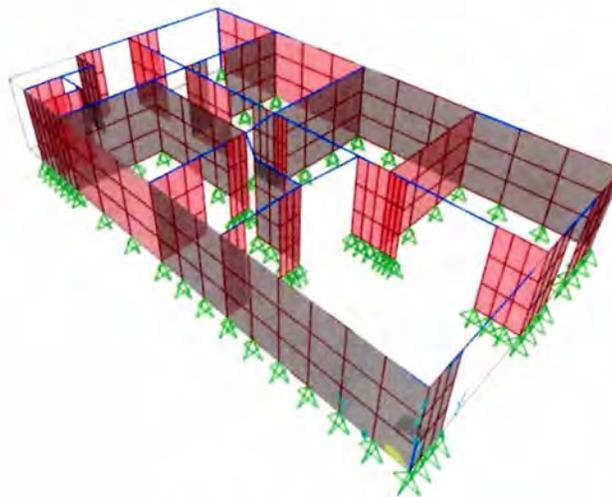
Edificación de un (1) nivel sobre un talud local de pendiente entre  $30^\circ$  a  $45^\circ$ . La estructura principal es en mampostería en ladrillo H-10 sin ningún tipo de confinamiento, dado que en toda la estructura no se encuentra ni columnas ni vigas de confinamiento. Puesto que la estructura es de un (1) piso, no posee entrepiso. Su cubierta consiste en tendido de caña con capa de tierra donde se apoya la teja de barro, según formularios (figuras 98 y 99).

**Figura 98.** Registro fotográfico Barrio Ricaurte. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 99.** Modelo en Sap 2000 Barrio Ricaurte. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

#### 7.1.1.14. Edificación 14: Barrio Arallanes

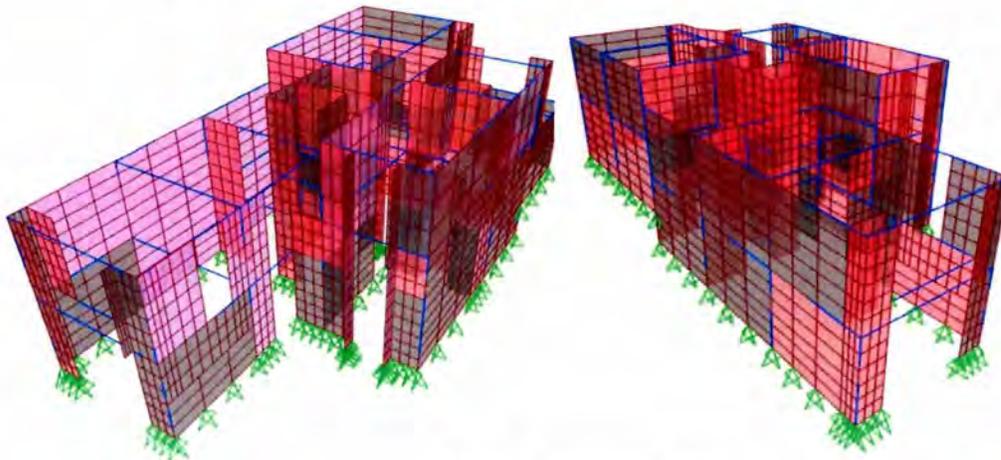
Edificación de dos (2) niveles sobre un talud local de pendiente entre  $30^\circ$  a  $45^\circ$ . La estructura principal es, en los dos niveles, un pórtico tridimensional en concreto reforzado, con columnas y vigas de  $30 \times 30 \text{ cm}$  promedio. Los muros divisorios y de fachada son en mampostería (ladrillo H-10). El sistema estructural de esta casa se puede confundir con una mampostería confinada, debido a que no se dejó la respectiva junta de dilatación entre el pórtico y los muros. Posee un entrepiso en placa aligerada a desnivel de espesor de  $30 \text{ cm}$  en concreto reforzado. Su cubierta es una placa aligerada de  $20 \text{ cm}$ , la cual es usada como terraza. Los materiales usados en la construcción son de buena calidad, con homogeneidad entre sus piezas y buen ligamento constructivo (ver figuras 100 y 101).

**Figura 100.** Registro fotográfico Barrio Arallanes. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 101.** Modelo en Sap 2000 Barrio Arallanes. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

### 7.1.1.15. Edificación 15: Barrio Esperanza Alta

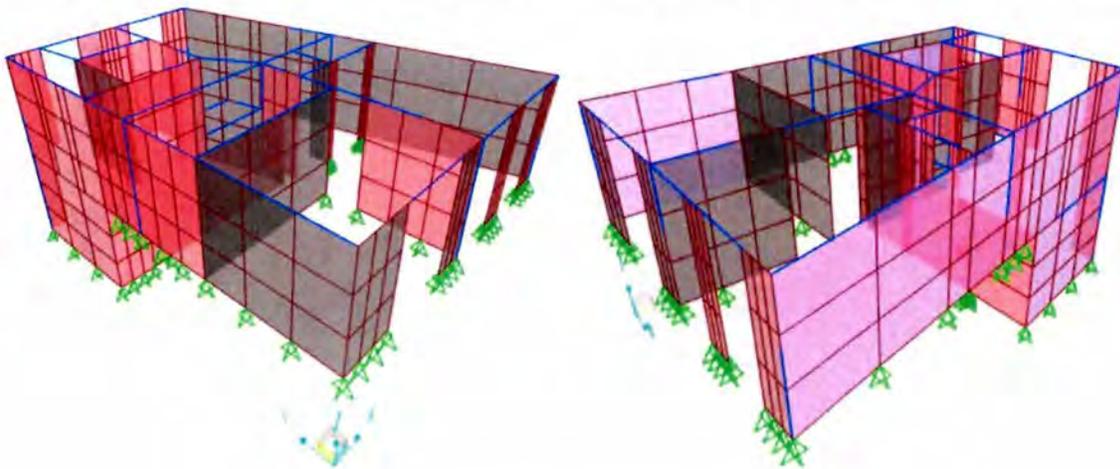
Edificación de un (1) nivel visto frontalmente, pero lateralmente son dos (2) niveles o pisos, con un nivel enterrado sobre un talud local de pendiente mayor a  $45^\circ$ . La estructura principal es en mampostería (ladrillo H-10) sin ningún tipo de confinamiento, dado que no se detallan ni columnas ni vigas de confinamiento en ningún sector de la casa. El entrepiso fue construido en placa maciza de 10cm de espesor en concreto. Su cubierta consiste en tendido de caña con capa de tierra donde se apoya la teja de barro, según formularios (figuras figura 102 y figura 103).

**Figura 102.** Registro fotográfico Casa 1. Barrio Esperanza Alta. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 103.** Modelo en Sap 2000 Casa 1. Barrio Esperanza Alta. Levantamiento Detallado.



Fuente: Elaboración Propia



## 7.2. MODELAMIENTO CASAS PROYECTO DE VELEZ

El método usa el modelamiento analítico de la estructura para evaluar su comportamiento (capacidad) y la adecuada representación de la acción esperada (o demanda), cuya finalidad es determinar el posible daño de la edificación como resultado de una acción esperada, en este caso, la acción corresponde a un deslizamiento.

### 7.2.1. DATOS DE LOS MATERIALES USADOS EN LAS DISTINTAS EDIFICACIONES

Esencialmente los materiales que se pueden encontrar en los levantamientos detallados realizados en el municipio de Vélez son tres: Tapia pisada, la mampostería en ladrillo H-10 y H-15; y el concreto. Dependiendo de la configuración estructural de cada una, se tomaron los siguientes datos para los tres materiales antes mencionados:

#### 7.2.1.1. Caracterización de la tapia pisada:

Los datos que se muestran a continuación son tomados de la tesis de maestría de la Universidad de los Andes "Alternativas de Rehabilitación de muros de Adobe y tapia Pisada" del autor William Darío Castro Ramírez.

Tabla 23. Caracterización de la tapia pisada.

<b>Densidad</b>	1.93	t/m3
<b>Esfuerzo a compresión (<math>f't</math>)</b>	6	kg/cm2
<b>Módulo de elasticidad</b>	559	kg/cm2
<b>Esfuerzo a Tracción</b>	0.35	kg/cm2
<b>Módulo de rigidez</b>	295.2	kg/cm2
<b>Coef. Poisson</b>	0.2	

Fuente: Tesis de maestría Alternativas de rehabilitación de adobe y tapia pisada

Dado que esta caracterización fue realizada en muretes idealizados hechos en laboratorios, siguiendo un estricto proceso constructivo, para el modelamiento de las casas, se tomó el valor de la resistencia a la compresión de la tapia ( $f't$ ) y se multiplicó por dos factores  $\gamma$ , definidos en la NSR-10 Sec. A.10.4.3.3. Estos dos factores se escogen de la NSR-10 Tabla A.10.4-1, a criterio de la experiencia del ingeniero del modelamiento. Para este caso se asumió que el material de tapia es de mala calidad, por lo cual para los factores  $\gamma$ , se tomó un valor igual para los dos de 0.6. Por ello:

$$f't_{Real} = (f't_{Teórico})(\phi_c)(\phi_e) = \left(6 \frac{kg}{cm^2}\right)(0.6)(0.6) = 2.16 \frac{kg}{cm^2}$$

Donde:

$f't_{Real}$  = Resistencia o esfuerzo a compresión de la tapia pisada, multiplicada por los factores  $\phi_c$  y  $\phi_e$ .

$f'_{t_{teórico}}$  = Resistencia o esfuerzo a compresión de la tapia pisada, tomada de la tabla 23.  
 $\phi_c$  = Coeficiente de reducción de resistencia por calidad del diseño y construcción de la estructura.

$\phi_e$  = Coeficiente de reducción de resistencia por estado de la estructura.

Con este valor se pudo construir la curva de Esfuerzo vs Deformación de la tapia pisada, la cual se usa en los modelos que tengan este material. La tabla 24 y figura 104 muestran los datos de la curva:

**Tabla 24.** Datos para crear la curva Esfuerzo vs Deformación de la tapia Pisada.

Deformación	Esfuerzo [KN/m <sup>2</sup> ]
-0.006	0.000
-0.004	0.000
-0.004	-216.000
-0.003	-216.000
0	0.000
0.0003	21.600
0.0004	21.600
0.0004	0.000
0.0006	0.000

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 104.** Curva Esfuerzo vs Deformación de la tapia Pisada.



Fuente: Elaboración Propia



### 7.2.1.2. Caracterización de mampostería en ladrillo o bloque:

Para saber la resistencia o esfuerzo a compresión de la mampostería, se usó la formulación de la NSR-10 Capítulo D. En este capítulo se encuentra las dos ecuaciones para el cálculo de la resistencia a la compresión de la mampostería, más exactamente en la NSR-10 Sec. D.3.7.5. Estas dos ecuaciones son las siguientes:

$$R_m = \left( \frac{2h}{75 + 3h} \right) f'_{cu} + \left( \frac{50k_p}{75 + 3h} \right) f'_{cp} \leq 0.8 f'_{cu} \quad (D.3.7-1)$$

$$f'_m = 0.75 R_m \quad (D.3.7-2)$$

#### Donde:

- $f'_m$  = resistencia nominal a la compresión de la mampostería, MPa
- $f'_{cu}$  = resistencia a la compresión del mortero de relleno, MPa
- $f'_{cre}$  = resistencia especificada a la compresión del mortero de recubrimiento ó revoque, MPa.
- $f'_{cu}$  = resistencia especificada a la compresión de la unidad de mampostería medida sobre área neta, MPa
- $f'_{cp}$  = resistencia especificada a la compresión del mortero de pega, MPa
- $h$  = altura de la unidad de mampostería, en mm, para ser empleada en la ecuación D.3.7-1
- $k_p$  = factor de corrección por absorción de la unidad, adimensional
  - $k_p = 1.4$  para unidades de concreto,  $k_p = 0.8$  para unidades de arcilla o sílico-calcáreas
- $k_r$  = factor de corrección por absorción de la unidad en la mampostería inyectada.
  - $k_r = 0.9$  para unidades de concreto,  $k_r = 0.75$  para unidades de arcilla o sílico-calcáreas
- $R_m$  = parámetro definido por medio de la ecuación D.3.7-1
- $r$  = relación entre el área neta y el área bruta de las unidades de mampostería, adimensional

La secuencia para calcular la ecuación de la resistencia a la compresión de la mampostería es la siguiente:

- a. Se debe escoger el tipo de mortero de pega, según la NSR-10 Tabla D.3.4-1. Esta tabla se muestra en la figura 108. En este caso se escogió un mortero tipo N, por lo cual el valor de  $f'_{cp} = 7.5$  MPa. Este valor se redujo, usando los coeficientes  $\phi_c = 0.8$  y  $\phi_e = 0.8$ , definidos en la NSR-10 Sec. A.10.4.3.3. Esta reducción nos arroja al final un valor de  $f'_{cp} = 4.8$  Mpa.

**Figura 105.** Imagen para la escogencia del mortero de Pega, según la calidad del mortero usado.

**D.3.4 — MORTERO DE PEGA**

**D.3.4.1 — REQUISITOS GENERALES** — Los morteros de pega utilizados en construcciones de mampostería deben cumplir la norma NTC 3329 (ASTM C270) y con lo especificado en la Tabla D.3.4-1. El mortero premezclado para pega de unidades de mampostería debe cumplir con la norma NTC 3356 (ASTM C1142). Los morteros de pega deben tener buena plasticidad, consistencia y ser capaces de retener el agua mínima para la hidratación del cemento y, además, garantizar su adherencia con las unidades de mampostería para desarrollar su acción cementante.

**Tabla D.3.4-1**  
**Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción**

Mortero tipo	Especificación de los morteros por propiedad <sup>(1)</sup>			Especificación de los morteros por proporción				
	Resistencia mínima a la Compresión $f'_{cp}$ MPa <sup>(2)</sup>	Flujo en (%) <sup>(3)</sup>	Retención Mínima de Agua	Cemento Portland	Cal hidratada <sup>(4)</sup>	Cemento para Mampostería <sup>(7)</sup>	Arena/Material Cementante <sup>(5)</sup>	
							Min.	Máx.
H	22.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.00	2.5
M	17.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.25	3.0
				1	no aplica	1	2.25	2.5
S	12.5	110-120	75%	1	0.25 a 0.50	no aplica	2.50	3.5
				0.5	no aplica	1	2.50	3.0
N <sup>(6)</sup>	7.5	105-115	75%	1	0.50 a 1.25	no aplica	3.00	4.5
				0	no aplica	1	3.00	4.0

**Notas:**

- Solo para el diseño de mezclas de morteros en laboratorio, con base en los materiales que van a ser utilizados en obra. El control de morteros en obra se debe realizar de acuerdo con la norma NTC 3548 (ASTM C750).
- Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días en cubos de 50 mm de lado.
- Ensayo realizado según NTC 4050 (ASTM C91).
- Se puede utilizar cal hidratada en polvo tipo N o S.
- Para este cálculo no se incluye como cementante la cal.
- El mortero tipo N solo se permite en sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMF).
- El tipo de cemento para mampostería (M, S o N) será el mismo que el tipo de mortero de pega.

Fuente: NSR10

- b. Se escoge una resistencia a la compresión de la unidad de la mampostería  $f'_{cu}$ . Este valor no debe ser menor al especificado en la NSR-10 Tabla D.10.3-1. Esta tabla se muestra en la figura 109. La mampostería de la zona de Vélez en general es en bloque de perforación horizontal de arcilla (H-10 o H-15), por lo cual se tomó un valor de 5 Mpa, reduciendo esta resistencia por los coeficientes  $\phi_c = 0.8$  y  $\phi_e = 0.8$ , definidos en la NSR-10 Sec. A.10.4.3.3. Esta reducción nos arroja al final un valor de  $f'_{cu} = 3.2$  Mpa, el cual es mayor al mínimo expresado en la figura.

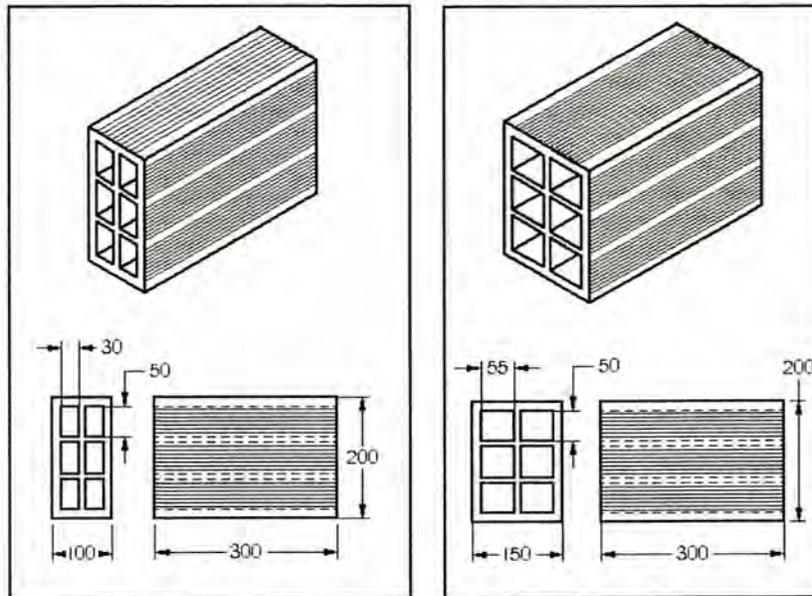
**Figura 106.** Resistencia mínima de las unidades para muros de mampostería confinada.

Tipo de unidad	$f'_{cu}$ (MPa)
Tolete de arcilla	15
Bloque de perforación horizontal de arcilla	3
Bloque de perforación vertical de concreto o de arcilla (sobre área neta)	5

Fuente: NSR10

- c. Se toma la altura de la unidad de arcilla usada,  $h$ , la cual es igual a 20cm (200mm), tanto para la unidad del ladrillo H-10 como para la del H-15. Esto se puede apreciar en la figura 107.

**Figura 107.** Dimensiones de la unidad de mampostería, ladrillo H-10 y H-15, respectivamente.



Fuente: Ladrillos y tubos

- d. Se escoge el valor del factor de corrección por absorción de la mampostería, el cual es igual a 0.8 para unidades de mampostería.
- e. Se calculó el parámetro  $R_m$ , según NSR-10 ecuación (D.3.7-1), y posteriormente se calcula la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$ , según NSR-10 ecuación (D.3.7-2).
- f. Calculado  $f'_m$ , se puede calcular el módulo de elasticidad de la mampostería,  $E_m$ , según NSR-10 ecuación (D.5.2-3). Esta ecuación se presenta a continuación:

*Para mampostería en arcilla*

$$E_m = 750f'_m \leq 20000 \text{ MPa}$$

(D.5.2-3)

El procedimiento anterior se resume en la figura 108 que se presenta a continuación:

**Figura 108.** Resumen del cálculo de la resistencia a la compresión de la mampostería, usada en el modelamiento de las casas de Vélez.

<b>h</b>	200	mm
<b>f'cu</b>	3.2	Mpa
<b>kp</b>	0.8	
<b>f'cp</b>	4.8	Mpa

<b>Rm</b>	2.181
-----------	-------

<b>f'm</b>	1.636	Mpa
------------	-------	-----

$$E_m = 750f'_m \leq 20\,000 \text{ MPa}$$

<b>Em</b>	1226.67	Mpa
<b>Gm</b>	490.67	Mpa
<b>ν<sub>m</sub></b>	0.25	

$$G_m = \frac{E_m}{2(1 + \nu_m)}$$

ν<sub>m</sub> = Coeficiente de Poisson

Em = Modulo de Elasticidad Mampostería

Gm = Modulo de cortante Mampostería = 0.4 Em

Fuente: NSR10

Usando los valores de f'm y Em se puede construir la curva de Esfuerzo vs Deformación, usando la metodología de (DEPFI-UNAM 2006), para la mampostería en bloque de arcilla de perforación horizontal. En la tabla 25 y la figura 109 se puede apreciar los datos y la gráfica de esta curva.

**Tabla 25.** Datos para crear la curva Esfuerzo vs Deformación de la mampostería.

Esfuerzo [KN/m <sup>2</sup> ]	Deformación
0.000	-0.0070
0.000	-0.0050
-1635.556	-0.0050
-1635.556	-0.0030
-654.222	-0.0005
0.000	0.0000
65.422	0.0001
163.556	0.0003
163.556	0.0005
0.000	0.0005
0.000	0.0007

Fuente: Metodología de (DEPFI-UNAM 2006)

**Figura 109.** Curva Esfuerzo vs Deformación de la mampostería.



Fuente: Metodología de (DEPFI-UNAM 2006)

**7.2.1.3. Caracterización del hormigón**

Para la caracterización de este material, se tomó un valor de resistencia a compresión del concreto ( $f_c$ ) de 21Mpa, afectado o reducido por los coeficientes  $\phi_c = 0.8$  y  $\phi_e = 0.8$ , definidos en la NSR-10 Sec. A.10.4.3.3. Esta reducción nos arroja al final un valor de  $f_c = 13.44$ Mpa.

El módulo de elasticidad del concreto, se halló siguiendo la formulación descrita en la NSR-10 Sec. C.8.5. Esta ecuación se muestra a continuación:

$$E_c = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{13.44\text{Mpa}} = 17230.485\text{Mpa}$$

El coeficiente de Poisson se tomó el valor típico que en la literatura es para el concreto, igual a 0.2.

En la tabla 26 se presenta el resumen de los valores usado en los modelos de la casas de Vélez.

**Tabla 26.** Caracterización del material Concreto para los modelos de Vélez.

$f_c$	13.44 Mpa
$E_c$	17230.485Mpa
$n_c$	0.2

Fuente: Elaboración Propia

Con estos datos, el programa SAP2000 internamente crea la curva Esfuerzo vs Deformación para el concreto, con los parámetros definidos en la tabla 27. Esta grafica se conoce en la literatura como la curva de Takeda, y se muestra a continuación:

**Tabla 27.** Datos automáticos creados por el SAP2000 para la curva Esfuerzo vs Deformación del concreto.

Esfuerzo [KN/m <sup>2</sup> ]	Deformación
-8598.2	-0.0075
-10752.0	-0.00625
-13440.0	-0.002402
-13418.5	-0.002306
-13095.9	-0.002017
-11698.2	-0.001537
-7935.0	-0.0008649
-2553.6	-0.0002402
0.00	0.00
2283.1	0.0001325
0.0	0.001457

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 110.** Curva Esfuerzo vs Deformación del concreto, según formulación de Takeda.



Fuente: Metodología Takeda



## 8. VULNERABILIDAD DE LAS REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

### 8.1. MARCO TEÓRICO: METODOLOGÍAS PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA VULNERABILIDAD DE REDES VITALES

Las metodologías existentes para el diagnóstico de la vulnerabilidad de los sistemas de acueducto y alcantarillado, son guías generales que pueden ser modificadas con el fin de ajustarse a una problemática en especial. El tipo de amenaza, el contexto socio-económico y la ubicación geográfica del sistema, son factores que deben ser tenidos en cuenta para el análisis.

La vulnerabilidad puede ser expresada en términos cualitativos o cuantitativos. Cuando se otorga un valor numérico a la vulnerabilidad (términos cuantitativos), no se precisan los factores (naturales y antrópicos) alrededor de un desastre. También, éste tipo de análisis indica la cantidad de daños basándose en registros de sucesos de igual naturaleza y de condiciones similares. Por otro lado, al describir la vulnerabilidad (términos cualitativos) se deben analizar los aspectos físicos del sistema y los efectos de la amenaza sobre el mismo, también, deben tenerse en cuenta aspectos operativos como la calidad y continuidad remanente del servicio así como la capacidad de ser restablecido.

Presentar la vulnerabilidad de forma cuantitativa facilita la toma de decisiones, pero, no detalla en los demás componentes del sistema que no son solamente físicos. Es por ello que se plantea un análisis cuantitativo para las redes de distribución de agua potable y recolección de aguas residuales y un análisis cualitativo de la vulnerabilidad del sistema como conjunto.

#### 8.1.1. MÉTODO CUALITATIVO PARA LA VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS:

El estudio cualitativo de vulnerabilidad involucra un análisis de los aspectos físicos (debilidades de los componentes físicos), operativos (deficiencias en la prestación del servicio) y organizacionales (debilidades administrativas de la empresa para responder ante una emergencia), factores que incrementan o disminuyen el grado de afectación de todo el sistema de acueducto y alcantarillado. También, involucra el tiempo de respuesta necesario para reparar, reponer o reconstruir los componentes afectados con tal de regresar a las condiciones normales de calidad, cantidad y continuidad del servicio prestado.

Entre las metodologías cualitativas se encuentra la desarrollada en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) por el Ingeniero Herbert Farrer, éste procedimiento determina la vulnerabilidad de un sistema mediante el uso de matrices analíticas de vulnerabilidad. En estos arreglos se registra la disposición de recursos humanos, económicos, equipos, materiales y la facilidad de movilidad, así como de la organización de la entidad a cargo de las redes y demás información básica para la elaboración de los planes de mitigación y atención de emergencias y desastres. Se emplean cuatro matrices:

- Matriz 1: Aspectos operativos (Matriz 1A para Acueducto y Matriz 1B para Alcantarillado Sanitario).



- Matriz 2: Aspectos administrativos y capacidad de respuesta.
- Matriz 3: Aspectos físicos e impacto en el servicio.
- Matriz 4: Medidas de mitigación y emergencias (Matriz 4A para los aspectos administrativos y operativos y Matriz 4B para los aspectos físicos).

A continuación se explicarán en detalle las matrices de análisis:

#### 8.1.1.1. Matrices 1A y 1B: Aspectos operativos

Comprende los aspectos relacionados con el funcionamiento del sistema de acueducto y alcantarillado, para el primero es relevante conocer la capacidad, cantidad de agua potable suministrada y dotación, así como la continuidad del servicio y la calidad del agua. Para el segundo sistema es necesario conocer la cobertura, capacidad de evacuación y calidad de efluentes. Con dicha información se busca determinar cómo se verá afectada la operación y funcionalidad de las redes de servicio público frente a la posibilidad de que falle alguno de sus componentes.

Para identificar también la capacidad de respuesta de la empresa, es necesario conocer si ésta cuenta con los medios de comunicación e información que permitan alertar sobre la ocurrencia de un determinado fenómeno, el funcionamiento defectuoso de alguno de los componentes del sistema o informar a los usuarios sobre las restricciones en el servicio.

Tabla 28. Matriz 1A.

Nombre Sistema Agua Potable:				
COMPONENTE	CAPACIDAD COMPONENTE	REQUERIMIENTO ACTUAL	DÉFICIT(-) SUPERÁVIT(+)	SISTEMAS REMOTOS DE ALERTA
SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y ALERTA INTERINSTITUCIONAL			SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y ALERTA EN LA EMPRESA	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Defensa Civil</li> <li>○ Instituto Meteorológico</li> <li>○ Instituto Sismológico</li> <li>○ Otro:</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Radio UHF</li> <li>○ Radio VHF</li> <li>○ Teléfono</li> <li>○ Otro:</li> </ul>	
			SISTEMAS DE INFORMACIÓN A LOS USUARIOS	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Radio</li> <li>○ Televisión</li> <li>○ Circulares</li> <li>○ Otro:</li> </ul>	

Fuente: Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario (1998)



Tabla 29. Matriz 1B.

Nombre Sistema Alcantarillado:			
COMPONENTE	COBERTURA %	CAPACIDAD	SISTEMAS REMOTOS DE ALERTA
SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y ALERTA INTERINSTITUCIONAL			SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y ALERTA EN LA EMPRESA
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Defensa Civil</li> <li>○ Instituto Meteorológico</li> <li>○ Instituto Sismológico</li> <li>○ Otro:</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Radio UHF</li> <li>○ Radio VHF</li> <li>○ Teléfono</li> <li>○ Otro:</li> </ul>
			SISTEMAS DE INFORMACIÓN A LOS USUARIOS
			<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Radio</li> <li>○ Televisión</li> <li>○ Circulares</li> <li>○ Otro:</li> </ul>

Fuente: Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario (1998)

#### 8.1.1.2. Matriz 2: Aspectos Administrativos

Ésta matriz contendrá información sobre las normas de funcionamiento y los recursos disponibles que pueden ser usados para el abastecimiento de agua potable y evacuación de aguas residuales en casos de emergencia, así como en la etapa de rehabilitación. Así, la capacidad de respuesta de la empresa quedará establecida mediante los aspectos preventivos, de mitigación y preparativos frente a desastres en la organización institucional, en la operación y mantenimiento del sistema y el apoyo administrativos.



Tabla 30. Matriz 2.

NOMBRE DEL SISTEMA: SISTEMA DE: ( ) AGUA POTABLE ( ) ALCANTARILLADO		
ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	APOYO ADMINISTRATIVO
A. Plan de atención de emergencias ( ) SI ( ) NO Última revisión	A. Programas de Planificación ( ) SI ( ) NO	A. Disponibilidad y Manejo de Dinero ( ) SI ( ) NO Monto:
B. Planes de Mitigación ( ) SI ( ) NO	B. Programas de Operación ( ) SI ( ) NO	B. Apoyo logístico de personal, almacenes y transporte ( ) SI ( ) NO
C. Coordinación interinstitucional ( ) SI ( ) NO	C. Programas de Mantenimiento preventivo ( ) SI ( ) NO	
D. Comisión de formulación de los planes de mitigación ( ) SI ( ) NO	D. Personal Capacitado ( ) SI ( ) NO	
E. Comité de Emergencias ( ) SI ( ) NO Miembros del comité Nombre Cargo	E. Disponibilidad de Equipo y Maquinaria ( ) SI ( ) NO Tipo de equipo y maquinaria	C. Contratación de empresa Privada en el mercado ( ) SI ( ) NO Nombre

Fuente: Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario (1998)

### 8.1.1.3. Matriz 3: Aspectos físicos

En ésta fase, se debe identificar el tipo de amenaza que puede producirse en el área de estudio y estimar los daños posibles sobre las redes de servicio público. Se consideran también los aspectos relacionados con los tiempos de rehabilitación y su impacto en el servicio.

Conociendo el tiempo que tardará la reparación de los daños posibles, la capacidad remanente del sistema luego de un desastre y determinando cómo se afectará el servicio en términos de calidad, continuidad y cantidad, se podrá establecer el nivel de respuesta y vulnerabilidad de la empresa prestataria.

Tabla 31. Matriz 3.

<b>NOMBRE DEL SISTEMA:</b> _____						
<b>TIPO DE SISTEMA:</b>		<input type="checkbox"/> AGUA POTABLE		<input type="checkbox"/> ALCANTARILLADO		
<b>TIPO DE AMENAZA:</b> _____		PRIORIDAD <sup>1</sup> : <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3				
<b>ÁREA DE IMPACTO:</b>						
Componentes expuestos	Estado del componente	Daños estimados	Tr 100% (días)	Capacidad remanente inmediata		Impacto en el servicio
				[ ]	%	
Prioridad 1 (Alta): > 50% de componentes afectados y/o afectación de la captación o conducción. Prioridad 2 (Media): 25 – 50% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción. Prioridad 3 (Baja): < 25% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción						

Fuente: Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario (1998)

#### 8.1.1.4. Matrices 4A y 4B: Medidas de mitigación y emergencia

Es necesario que la formulación de recomendaciones técnicas de las medidas de mitigación, formen parte del estudio de vulnerabilidad. Las medidas de mitigación tendrán relación con el reforzamiento del sistema para reducir el impacto de los fenómenos naturales, o con las medidas para mejorar la reacción de la empresa frente a emergencias.

Tabla 32. Matriz 4<sup>a</sup>.

Nombre del sistema:	<input type="checkbox"/> Acueducto	<input type="checkbox"/> Alcantarillado
AREA	MITIGACIÓN	EMERGENCIA
A) Organización Institucional		
B) Operación y Mantenimiento		
C) Apoyo Administrativo		
D) Aspectos Operativos		

Fuente: Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario (1998)



Tabla 33. Matriz 4B.

Nombre del sistema:	( ) Acueducto	( ) Alcantarillado
COMPONENTE	MITIGACIÓN	EMERGENCIA

Fuente: Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario (1998)

### 8.1.2. MÉTODOS CUANTITATIVOS DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) define la vulnerabilidad como la susceptibilidad a la pérdida de un elemento o conjunto de elementos como resultado de la ocurrencia de un desastre; ésta se puede expresar como la probabilidad de que se dé un estado  $E_j$  dado un desastre  $A_i$ :

$$P\left(\frac{E_j}{A_i}\right)$$

$E_j$  hace referencia al estado que puede alcanzar un componente bajo la ocurrencia de un desastre  $A_i$ . Para el presente estudio se definen sólo dos estados  $E_j$ :

$E_1$  = Sin Daños (ninguna falla)

$E_2$  = Falla del elemento (al menos 1 falla)

Las probabilidades  $P_{j i}$  se establecen en base a estadísticas previas de sucesos de igual naturaleza ocurrido en lugar con características similares a las de la zona de estudio. Estas probabilidades se organizan en la siguiente matriz denominada Matriz de Probabilidad de daños y/o fallas.

Tabla 34. Formato de Matriz de Vulnerabilidad Física o de Probabilidad de Daños.

Grado de Daño	$P(E_j/A_i)$ = Probabilidad de que se de $E_j$ dado $A_i$			
	$A_1$	$A_2$	$A_i$	$A_n$
$E_1$	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{1i}$	$P_{1n}$
$E_2$	$P_{21}$	$P_{22}$	$P_{2i}$	$P_{2n}$

Fuente: Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario  
Cabe resaltar que para cualquier fenómeno  $A_i$ , se debe cumplir:

$$(P_{1i} + P_{2i}) = 100\%$$

Cuando no exista una estadística que ayude a completar la matriz anterior, se recomienda emplear otras metodologías para cuantificar la vulnerabilidad por ejemplo, la metodología de contabilidad propuesta por la American Water Works Association o la utilización de curvas de fragilidad propuesta por la AUTH.



### 8.1.2.1. Vulnerabilidad física por medio de la contabilidad de los componentes (AWWA)

La metodología planteada por American Water Works Association (AWWA), es un análisis cuantitativo, que parte de la contabilidad (CE) de un sistema. Ésta se define como la relación entre la capacidad remanente de un sistema o componente luego de un evento desastroso ( $Q_p$ ) respecto a la capacidad requerida de dicho conjunto ( $Q_n$ ):

$$CE = \frac{Q_p}{Q_n}$$

Una vez calculada la contabilidad, se halla la vulnerabilidad ( $V$ ) estableciendo que ésta segunda es el inverso de la primera:

$$V = 1 - CE$$

### 8.1.2.2. Vulnerabilidad física por medio de curvas de fragilidad (AUTH)

Las curvas de fragilidad relacionan la intensidad del deslizamiento con las probabilidades de daño atribuyéndole a cada elemento en riesgo, la probabilidad de estar o exceder cierto estado de daño. Los métodos utilizados para estimar las curvas de fragilidad pueden ser clasificados en 4 clases diferentes – empíricos, juicio ingenieril, analíticos e híbridos – basados en la escala del área de estudio, la disponibilidad y calidad de los datos de ingreso y en la tecnología local en las prácticas de construcción.

Los reportes de daños de previos deslizamientos son la fuente principal de información para las curvas empíricas que generalmente son más realistas comparadas con las otras categorías. El problema más común al aplicar un enfoque puramente empírico radica en contar con la suficiente información sobre diversos tipos e intensidad de deslizamientos, así como la confiabilidad de dichos datos.

El método del juicio ingenieril para generar curvas de fragilidad es cuestionable debido a que depende de la experiencia individual de los expertos consultados.

El método analítico se basa esencialmente en modelamiento numérico. La fragilidad analítica ofrece un mayor nivel de detalle comparado con los métodos anteriormente mencionados pero, exige una mayor capacidad de cálculo y cantidad de información.

Por otra parte, las relaciones híbridas pretenden compensar la escasez de información observada, la información subjetiva y las deficiencias de los modelos analíticos combinándolos en una sola metodología (Kappos et al., 2006).

La Universidad Aristotélica de Thessalonikí (AUTH) en su publicación "*Vulnerabilidad física de elementos en riesgo por fenómenos de remoción en masa: Metodologías para la evaluación, curvas de fragilidad y estados de daños para edificaciones y líneas vitales*" propone que para el estudio de tuberías enterradas se empleen métodos analíticos o empíricos, basados en los desplazamientos permanentes del suelo o en los esfuerzos del mismo. Es por ello que para el caso de estudio del Municipio de Vélez se usará el procedimiento empírico basado en el desplazamiento permanente del suelo (PGD).

La relación de reparaciones (RR) es el indicador de desempeño de una tubería y expresa la cantidad de fallas por unidad de longitud que presentará un elemento luego de un determinado desplazamiento del suelo:

$$RR (n^{\circ} \text{ reparaciones/Longitud}) = a * PGD^b$$

Donde  $a$  y  $b$  son constantes que dependen del material de la tubería y el tipo de junta. Diversos autores presentan sus valores para éstos coeficientes:

**Tabla 35.** Honegger & Eguchi (1992).

Material	Tipo de Tubería	a	b
CP	Tubería Dúctil	2.3463	0.56
SP	Tubería Frágil	7.821	0.56
PGD [m]			
RR [RR/km]			

Fuente: Vulnerabilidad física de elementos en riesgo por fenómenos de remoción en masa: Metodologías para la evaluación, curvas de fragilidad y estados de daños para edificaciones y líneas vitales

**Tabla 36.** Eidinger & Avila (1999).

Material	Tipo de Tubería	a	b
CP	Acero con Junta Soldada	0.1545	0.53
	Acero con Junta de Goma	0.721	0.53
	Hierro Dúctil con Junta de Goma	0.309	0.53
SP	Hierro Fundido con Junta de Cemento	1.03	0.53
	Hierro Fundido con Junta de Goma	0.721	0.53
	Hierro Fundido con Junta Mecánica	0.721	0.53
	Asbesto Cemento con Junta de Goma	0.824	0.53
	Asbesto Cemento con Junta de Cemento	1.03	0.53
	Concreto con Junta Soldada	0.824	0.53
	Concreto con Junta de Cemento	1.03	0.53
	PVC	0.824	0.53
PGD [pulgada]			
RR [RR/1000ft]			

Fuente: Vulnerabilidad física de elementos en riesgo por fenómenos de remoción en masa: Metodologías para la evaluación, curvas de fragilidad y estados de daños para edificaciones y líneas vitales

Tabla 37. ALA (2001).

Material	Tipo de Tubería	a	b
CP	Acero con Junta Soldada	0.159	0.32
	Acero con Junta de Goma	0.742	0.32
	Hierro Dúctil con Junta de Goma	0.53	0.32
	Hierro Fundido con Junta de Cemento	1.06	0.32
	Hierro Fundido con Junta de Goma	0.848	0.32
	Hierro Fundido con Junta Mecánica	0.742	0.32
SP	Asbesto Cemento con Junta de Goma	0.848	0.32
	Asbesto Cemento con Junta de Cemento	1.06	0.32
	Concreto con Junta Soldada	0.636	0.32
	Concreto con Junta de Cemento	1.06	0.32
	Concreto con Junta de Goma	0.742	0.32
	PVC	0.848	0.32

PGD [pulgada]  
RR [RR/1000ft]

**Fuente:** Vulnerabilidad física de elementos en riesgo por fenómenos de remoción en masa: Metodologías para la evaluación, curvas de fragilidad y estados de daños para edificaciones y líneas vitales

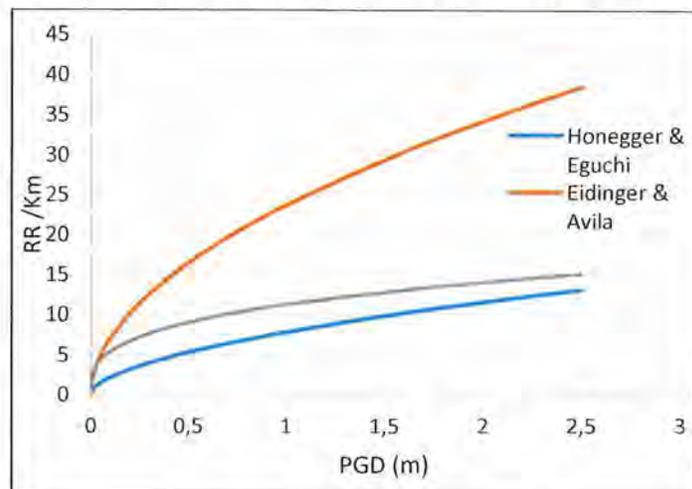
Tabla 38. Terzi, Alexoudi &amp; Hatzigogos (2007).

Material	Tipo de Tubería	a	b
SP	PVC	3.21	0.41

PGD [m]  
RR [RR/km]

**Fuente:** Vulnerabilidad física de elementos en riesgo por fenómenos de remoción en masa: Metodologías para la evaluación, curvas de fragilidad y estados de daños para edificaciones y líneas vitales

Las relaciones anteriores fueron validadas con los daños observados luego del terremoto de Lefkas (2003) y Düzce (1999). La relación de Honegger & Eguchi (1992) arrojó los resultados más cercanos a los reales. Por otro lado, las relaciones de Eidinger & Avila (1999) y ALA (2001) sobrestiman el daño.

**Figura 111.** Comparación entre diferentes relaciones empíricas para tuberías frágiles.

Fuente: Elaboración Propia

Una vez se calcula la relación de daños por unidad lineal, se aplica una distribución de Poisson que permita identificar la probabilidad de encontrar un número esperado de rupturas en un elemento de determinada longitud:

$$P(N = n) = e^{-RR*L} * \frac{(RR * L)^n}{n!}$$

Donde  $P$  es la probabilidad de tener  $n$  rupturas o fugas en un segmento de tubería de  $L$  longitud. Si la tubería no presenta ningún daño ( $n=0$ ) se consideraría como la probabilidad de éxito  $Pe$ :

$$Pe = P(N = 0)$$

$$Pe = e^{-RR*L}$$

Y asumiendo que el segmento de tubería falla totalmente cuando ha ocurrido por lo menos 1 ruptura o fuga, la probabilidad de falla  $Pf$  es:

$$Pf = 1 - Pe$$

$$Pf = 1 - e^{-RR*L}$$

Luego, al graficar la probabilidad de falla  $Pf$  contra  $PGD$  se obtiene la curva de fragilidad del elemento. Finalmente, para una tubería compuesta por varios segmentos, la probabilidad de falla de será 100% menos la probabilidad de que todas las tuberías no tengan fugas:

$$Pf = 1 - \prod Pe_i$$

$$Pf = 1 - [Pe_1 * Pe_2 * Pe_3 * \dots * Pe_n]$$



## 8.2. ANÁLISIS CUALITATIVO

### 8.2.1. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

Para la caracterización de los componentes de los sistemas de acueducto y alcantarillado de la zona de estudio se recolectó información y antecedentes, con relación a la composición, funcionamiento, materiales, evidencias de amenazas geológicas, etc., mediante revisión bibliográfica, mapas, estudios, diseños y caracterizaciones anteriores, entre otras fuentes de información.

Las principales fuentes a considerar fueron el INGEOMINAS (actual Servicio Geológico Colombiano), IDEAM, INVIAS, estudios de la administración local, del Departamento de Santander y de la Corporación Autónoma de Santander – CAS, la Empresa de Servicios Públicos EMPREVEL E. S. P y a la Secretaría de Planeación del Municipio de Vélez.

El sistema de acueducto, alcantarillado y aseo del casco urbano está a cargo de la Empresa Municipal de Servicios Públicos Domiciliarios de Vélez, EMPREVEL E.S.P. que fue conformada el 31 de mayo de 1996 y está sujeta a la Superintendencia de Servicios Públicos.

#### 8.2.1.1. Sistema de acueducto

El acueducto urbano fue construido en 1950 por ACUASUR, y entró en funcionamiento en 1952. Aunque en la actualidad posee una cobertura del 100%, no se presta un servicio continuo, esto se debe a que en época de verano las fuentes de agua son insuficientes para el abastecimiento normal de la población, suministrando sólo de 12 a 18 horas al día.

También, se presentan inconvenientes de presión en los barrios occidentales, especialmente la Esperanza, América de Indias, Chapinero y Sagrada Familia. Por ello, es necesario cerrar el suministro en algunos sectores para elevar la presión y abastecer a estas localidades.

##### 9.2.1.1.1 Captación

El Municipio de Vélez se abastece de agua potable de tres fuentes superficiales. La Quebrada el Batán está ubicada en el Municipio de Chipatá y corresponde a la fuente principal de abastecimiento para el acueducto. En épocas de verano, el caudal de éste cuerpo de agua se reduce considerablemente, haciendo necesario utilizar la captación de Pozo Verde y obligando al acueducto a tomar medidas de racionalización del recurso. En invierno, el caudal captado oscila entre 25 a 30 lps y en verano varía entre 5 a 10 lps. La captación es de tipo lateral conectada a un desarenador, éste componente es del tipo convencional de 4 x 2 metros de lado y con 2 metros de profundidad. A éste desarenador también se conecta la conducción proveniente de una captación de refuerzo ubicada sobre la Quebrada Chintoca, que provee un caudal de 5 lps en época de invierno, pero en verano el aporte es nulo.

**Figura 112.** Desarenador sobre la Quebrada el Batán.



Fuente: EMPREVEL E.S.P.

**Figura 113.** Desarenador sobre la Quebrada Chintoca.



Fuente: EMPREVEL E.S.P.

Actualmente, se está ejecutando el proyecto de Optimización del Acueducto Urbano y Rural del Municipio de Vélez, mediante la construcción de una represa sobre la Quebrada el Batán, con el fin de acumular el volumen de agua necesario para suplir la demanda durante las épocas de verano, también, busca mejorar el sistema de conducción y de tratamiento del agua captada. Se espera de esta manera aumentar el caudal en verano entre 40 a 50 lps y así ofrecer un servicio continuo a lo largo del año.

**Figura 114.** Represa sobre la Quebrada el Batán.



Fuente: EMPREVEL E.S.P.

La segunda fuente de captación es la Quebrada Pozo Verde, ubicada en las Veredas Resumidero y Laguna Negra en el Municipio de Bolívar. Posee un caudal de 648 lps (Aforado en abril de 2005) de los cuales entre 25 a 30 lps están a disposición del Municipio de Vélez. Ésta captación nació de la necesidad de una fuente constante de abastecimiento a lo largo del año, pero sus diseños fueron realizados durante el afán de solventar dicha emergencia y es por ello que es la conducción con mayor número de daños reportados a lo largo del año. La bocatoma es de tipo lateral, construida en el sitio de afloramiento. Está conectada a un desarenador y de ahí se conduce el líquido hacia la estación de bombeo localizada en la vereda Capilla Alta.

**Figura 115.** Desarenador sobre la Quebrada Pozo Verde.



Fuente: EMPREVEL E.S.P.

La tercera fuente de agua potable es la Quebrada la Peña, ubicada en la Vereda el Amarillo. La captación está diseñada para un caudal entre 15 a 20 lps, pero sólo se capta la mitad de éste valor, y su nivel es suficiente para el abastecimiento del Municipio sólo en épocas de lluvias, en verano el aporte de ésta fuente es nulo. La bocatoma es de tipo lateral y el agua captada llega directamente a la planta de tratamiento sin pasar por un desarenador.

**Figura 116.** Captación sobre la Quebrada la Peña.



Fuente: EMPREVEL E.S.P.

#### 9.2.1.1.2 Conducción

Las rupturas en las redes de conducción por su antigüedad y los deslizamientos de tierra que ocurren ocasionalmente, obligan a que se realicen constantes revisiones sobre las líneas para garantizar la prestación del servicio.

La antigua conducción del Batán transportaba el agua desde el desarenador por gravedad hacia la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), en una tubería de asbesto cemento (A.C) de Ø6" durante los primeros 3.5 Km y los últimos 1,000 metros en tubería PVC de Ø4". Ésta conducción presentaba problemas de roturas por el mal estado de las tuberías de asbesto cemento y requería de reparaciones al menos una vez por mes. Ésta línea fue respuesta en su totalidad por tubería en PVC de Ø8" y Ø6", obra que hace parte de la construcción de la Represa el Batán a cargo del Consorcio VASCA. La línea del Batán tiene una longitud de 4.5 Km y en el transcurso de la misma hay instaladas tres válvulas de corte y tres ventosas.

La conducción la Peña tiene una longitud de 1000 metros en tubería PVC de Ø8" y Ø6", pero éste se reduce en la llegada a la PTAP a 3" en los últimos 60 m de longitud. Durante su recorrido hay instalados cuatro válvulas de corte y seis ventosas.

Finalmente, la conducción Pozo Verde tiene una longitud aproximada de 15 km en tubería PVC y hierro dúctil (H.D) de Ø8" hasta la estación de bombeo localizada en la vereda Capilla Alta. La conducción de la estación de bombeo a la PTAP se realiza mediante una tubería Ø6" en PVC y H.D en una longitud aproximada de 1.5 Km. La línea de Pozo Verde presenta problemas por rupturas de la tubería debido a deslizamientos del terreno y a la elevada presión en la tubería en el tramo de la captación a la estación de bombeo, debido al poco tiempo dedicado en la etapa de diseño.

### 9.2.1.1.3 Bombeo

La estación de bombeo se encuentra ubicada en la Vereda Capilla Alta, cuenta con tres bombas, dos de ellas son operativas y se deja la tercera de reserva. La potencia de las bombas es de 125 HP, con capacidad de 40 lps y consumen 440 KW. Éste sistema sólo se usa en verano.

Figura 117. Estación de Bombeo.



Fuente: División de Asesorías y Servicios Especializados UIS

### 9.2.1.1.3 Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP)

El sistema de acueducto cuenta con una Planta de tratamiento de Agua Potable (PTAP) tipo convencional con una capacidad nominal de 60 lps, localizada en el Barrio Aquileo Parra en la parte alta occidental de la ciudad. Fue construida por ACUASUR en 1975 y actualmente es calificada como en buen estado, tratando un caudal promedio de 40 lps.

**Figura 118.** Caja de llegada.



Fuente: EMPREVEL E.S.P.

Las conducciones de agua cruda provenientes del Batán, la Peña y Pozo Verde, llegan a una caja colectora de 2 m<sup>3</sup> de capacidad. Luego, el agua es conducida a la canaleta Parshall de 12", donde se efectúa la medición y la mezcla rápida (coagulación).

**Figura 119.** Canaleta Parshall.



Fuente: EMPREVEL E.S.P.

La mezcla lenta se realiza en dos floculadores, uno horizontal y el otro de tipo convencional. Estos floculadores se conectan a dos sedimentadores convencionales y posteriormente a tres filtros de lecho mixto de arena antracita y de flujo descendente. Finalmente, la desinfección se realiza mediante Cloro gaseoso, tiene 3 dosificadores en funcionamiento, el primero es de Alumbre del tipo mecánico, el segundo es de Cal del tipo manual y el tercero es de Cloro Gaseoso de marca Kent del tipo válvula.

**Figura 120.** Planta de Tratamiento.



Fuente: EMPREVEL E.S.P.

El mantenimiento y lavado de los floculadores se realiza mensualmente. Por otro lado, los sedimentadores son lavados cada tres meses y los filtros son retrolavados con agua tratada que proviene de un tanque ubicado en la parte alta de las instalaciones de la planta de tratamiento y que es suministrado por medio de un sistema de bombeo.

**Figura 121.** Sedimentadores y Filtros.



Fuente: EMPREVEL E.S.P.



Cabe resaltar que dentro del contrato adscrito al Consorcio VASCA para la construcción de la represa sobre la Quebrada el Batán, también se incluyen obras para el mejoramiento de la PTAP, como lo son actualización de los laboratorios de control de calidad, construcción de una nueva canaleta Parshall, reposición del material filtrante, mejoras en el sistema de dosificación, entre otras.

#### 9.2.1.1.4 Almacenamiento

Existen tres tanques de almacenamiento y distribución. Dos tanques están enterrados dentro de los perímetros de la PTAP con capacidad de  $350 \text{ m}^3$  y  $400 \text{ m}^3$  cada uno. El tercero es un tanque elevado para el suministro de agua de los sectores altos como lo son los Barrios Kennedy y la Esperanza Alta, éste tanque tiene una capacidad de  $80 \text{ m}^3$ . El mantenimiento de cada tanque es realizado cada 6 meses.

#### 9.2.1.1.5 Red de Distribución

La red de distribución del Municipio de Vélez está compuesta por una malla de distribución matriz, de tuberías enterradas entre 0.6 m y 1m. La red es cerrada en algunos sectores y abierta en otros debido a que abastece zonas aisladas del casco urbano. El acueducto suministra a 2980 domiciliarias en la cabecera municipal para un total de 10.720 habitantes, contando así con una cobertura del 100%.

El servicio es continuo excepto en época de verano, temporada donde las fuentes de abastecimiento son insuficientes para el suministro de la población. Los Barrios Esperanza Alta y Kennedy están contruidos por encima de la cota de salida de la PTAP así que el servicio en los meses de verano sólo se presta dos veces por semana, por lo que algunos usuarios del Barrio la Esperanza se abastecen con agua cruda proveniente de la antigua captación del Batán.

Se presentan también, problemas de bajas presiones en los Barrios la Esperanza, sector la cárcel, El Campin, también en la Escuela de Carabineros, Vereda la Capilla Alta, Barrios Chapinero bajo, Chapinero Alto y Sagrada Familia. Por ello, es necesario sectorizar el suministro para elevar las presiones en éstas locaciones. Para esto, funcionarios del acueducto abren y cierran las 30 válvulas en hierro fundido dispuestas sobre la red de distribución.

La sectorización y racionalización no solo trae inconvenientes a los usuarios, también afecta a las tuberías. Al no existir un control para cerrar las válvulas y tampoco dispositivos reguladores como válvulas de drenaje y alivio, se produce el fenómeno del golpe de ariete que daña las tuberías. Adicionalmente, el sistema de distribución presenta daños por su antigüedad y un gran número de rupturas, ya que existen tramos que se encuentran a tan solo 10 cm del nivel de vía.

Muchas de las rupturas de los tubos se dan en la red secundaria que conecta los tramos principales a los medidores de las casas. Esto ocurre porque la obra inicial de conexión al sistema de acueducto corre por cuenta del usuario, que por facilidad económica cruza los tubos a lo largo de las juntas del pavimento y se recubren con una capa de mortero. Pero, una vez instaladas estas conexiones, la mantención y reparación de las mismas corre por cuenta de la empresa de acueducto.

**Figura 122.** Fuga sobre un tramo de la red secundaria.



Fuente: Elaboración Propia

Se tiene previsto la optimización de la red de distribución así como la expansión de la misma en el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, pero mientras se ejecutan dichas obras, los cambios de tuberías son realizados por tramos a medida que se reporten daños. Otros problemas que se buscan resolver son los errores en las micromediciones, problemas hidráulicos referentes a los cambios erróneos en los diámetros, así como dispositivos que ayuden a evitar los daños en las redes (válvulas de drenaje y de alivio).

#### 8.2.1.2. Sistema de Alcantarillado

El municipio de Vélez cuenta con un sistema combinado de recolección y transporte de las aguas residuales, formada por un conjunto de tuberías enterradas a flujo libre. Las aguas lluvias y sanitarias son vertidas sin tratamiento sobre las quebradas que circulan el casco urbano, estas entregas se realizan sin el control necesario para evitar la proliferación de vectores y roedores, ocasionando un impacto negativo sobre la población y el medio ambiente. Aunque el municipio cuente con un sistema combinado, EMPREVEL S.A tiene control y responsabilidad sobre todos los tramos de aguas negras y la Secretaría de Planeación Municipal tiene control y responsabilidad sobre los tramos pluviales.

La cobertura del servicio es del 95%, con 2830 domiciliarias (cifra para el año 2013). Y el porcentaje restante de viviendas que no están conectadas con el sistema de alcantarillado, descargan directamente sobre corrientes naturales de agua o pozos sépticos, de los cuales muchos se encuentran en mal estado o no fueron construidos adecuadamente.

El sistema de alcantarillado se encuentra en mal estado ya presenta fugas e infiltraciones en mayoría de sus elementos a causa de la edad y tipo de material de las tuberías. Aunque esté contemplando la separación de los alcantarillados (aguas lluvias y aguas sanitarias) además de las obras de optimización de la red (cambio de tubería a PVC) las intervenciones sobre las tuberías se realizan a medida que se presenten inconvenientes o daños. También, son necesarias las obras para corregir errores hidráulicos, por ejemplo, se han presentado reboces en los pozos del Barrio Santander, calle 12, por reducción del diámetro de la tubería de gres de 10" a 8" especialmente en épocas de lluvias.

La red está construida en un 88% en tubería de gres de 8", 10", 12", 14", 16", 18" y 21" de diámetro; otro 11% en tubería de PVC de 6", 8", 10", 12" y 16" de diámetro y un 1% en



concreto reforzado de 24" de diámetro. Estos elementos transportan un caudal promedio de 42 lps que son entregados las Quebradas las Flores, Palenque y Puente tabla 39.

La red general posee 418 pozos de alcantarillado combinado y 13 pozos pluviales. Los pozos de inspección combinados tienen la misma infraestructura, pero, alrededor del 10% presentan inconvenientes debido a que poseen tapas de concreto o metálicas completamente selladas o se encuentran bajo el pavimento, algunos están en mal estado por falta de mantenimiento, falta de tapa, falta de friso y cañuela en mal estado. Además, existen inconsistencias de entrada y salida de tuberías dentro de la estructura del pozo, ya que el tramo de entrada está más abajo que el tramo de salida.

Los sumideros en las vías vehiculares están conectados a través de pequeños tramos de alcantarillado pluvial a las quebradas que atraviesa el área urbana, o se conectan al alcantarillado sanitario. Pero, carecen de un mantenimiento periódico y se encuentran en mal estado ya que la mayoría están taponados y anegados por sedimentos, además algunos no poseen un trayecto definido para su vertimiento.

Como se ha mencionado, los vertimientos o entregas del agua residual se hacen directamente a las zanjas naturales o a las quebradas, ocasionando impactos negativos sobre el medio ambiente, problemas de salud y malos olores en la población, las viviendas y las fincas ubicadas en el área de vertimiento, además, aguas debajo de la entrega, las quebradas son utilizadas para riego. El aumento de caudal, las altas pendientes del cauce y la alta susceptibilidad del suelo por su conformación litológica y tipológica están generando procesos de inestabilidad del terreno en el punto de entrega.



## 8.2.2. MATRICES DE VULNERABILIDAD

### 8.2.2.1. Sistema de acueducto

#### 9.2.2.1.1 Matriz 1: Aspectos Operativos del sistema de acueducto

A continuación, se reúnen los aspectos relacionados con el funcionamiento, capacidad, continuidad del servicio y capacidad de transmisión de información del acueducto.

**Tabla 39.** Aspectos Operativos del Acueducto del Municipio de Vélez.

COMPONENTE	CAPACIDAD COMPONENTE	REQUERIMIENTO ACTUAL	DÉFICIT(-) SUPERÁVIT(+)	SISTEMAS REMOTOS DE ALERTA
<b>1. Fuentes Hídricas</b>				
* Quebrada El Batán	Invierno: 25-30 [lps] Verano: 5-10 [lps]	50 [lps]	Invierno: (+) 20 [lps] Verano: (-) 20 [lps]	
* Chintota	Invierno: 5 [lps] Verano: 0 [lps]			
* Quebrada La Peña	Invierno: 15-20 [lps] Verano: 0 [lps]			
* Pozo Verde, Bolívar	Invierno y Verano: 25-30 [lps]			
<b>2. Conducción</b>				
* El Batán	Invierno: 30-35 [lps] Verano: 5-10 [lps]	50 [lps]	Invierno: (+) 20 [lps] Verano: (-) 20 [lps]	Sistema de detección de fugas por medio de un geófono.
* La Peña	Invierno: 15-20 [lps] Verano: 0 [lps]			
* Pozo Verde, Bolívar	Invierno y Verano: 25-30 [lps]			
<b>3. Estación de Bombeo</b>				
* Pozo verde, Bolívar	40 [lps]	25 [lps]	(+) 15 [lps]	
<b>4. PTAP</b>				
* PTAP	65 [lps]	50 [lps]	(+) 15 [lps]	
<b>5. Almacenamiento</b>				
* Tanque 1 EMPREVEL	340 [m <sup>3</sup> ]			- Indicador de regla - Llenado por Bombeo con sistema electrónico
* Tanque 2 EMPREVEL	370 [m <sup>3</sup> ]			
* Tanque 3 EMPREVEL	100 [m <sup>3</sup> ]			

Fuente: Elaboración Propia en base a la metodología para mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. OPS (1998)

**Tabla 40.** Aspectos Operativos del Acueducto del Municipio de Vélez (continuación).

COMPONENTE	CAPACIDAD COMPONENTE	REQUERIMIENTO ACTUAL	DÉFICIT(-) SUPERÁVIT(+)	SISTEMAS REMOTOS DE ALERTA
<b>6. Red de Distribución</b>				
* Red de distribución			Existe una diferencia del 50% al 60% entre la macro y micro medición.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informes de la comunidad</li> <li>- Control por medio del sistema de macro medición.</li> </ul>
<b>SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y ALERTA INTERINSTITUCIONAL</b>			<b>SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y ALERTA EN LA EMPRESA</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>o Defensa Civil</li> <li>o CAS</li> <li>o Escuela de Carabineros</li> <li>o Bomberos</li> <li>o Policía</li> <li>o SENA</li> <li>o Comité Local de Atención a Desastres (COPLAD)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>o Teléfono Celular</li> <li>o Línea fija 24 horas</li> </ul>	
			<b>SISTEMAS DE INFORMACIÓN A LOS USUARIOS</b>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>o Radio Local</li> <li>o Televisión Local</li> <li>o Circulares (Reportes)</li> </ul>	

Fuente: Elaboración Propia en base a la metodología para mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. OPS (1998)

#### 9.2.1.1.2 Matriz 2: Aspectos administrativos

A continuación, se reúnen los aspectos relacionados con las normas de funcionamiento, disponibilidad de recursos y capacidad de respuesta de EMPREVEL.

**Tabla 41.** Aspectos Administrativos de EMPREVEL.

ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL		OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	APOYO ADMINISTRATIVO
<b>A. Plan de atención de emergencias</b> <input type="checkbox"/> SI              <input checked="" type="checkbox"/> NO Poseen un acta de funciones		<b>A. Programas de Planificación</b> <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<b>A. Disponibilidad y Manejo de Dinero</b> <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO
<b>B. Planes de Mitigación</b> <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Manual de Procesos y Procedimiento		<b>B. Programas de Operación</b> <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<b>B. Apoyo logístico de personal, almacenes y transporte</b> <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
<b>C. Coordinación interinstitucional</b> <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO		<b>C. Programas de Mantenimiento preventivo</b> <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
<b>D. Comisión de formulación de los planes de mitigación</b> <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO		<b>D. Personal Capacitado</b> <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
<b>E. Comité de Emergencias</b> <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO COPLAD		<b>E. Disponibilidad de Equipo y Maquinaria</b> <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
Miembros del comité		Tipo de equipo y maquinaria	Nombre
Nombre	Cargo	Préstamo y Alquiler:	
Alcaldesa	Preside	- Maquinaria de los Bomberos	Ferretería Xiocer
EMPREVEL	-	- Motobombas	F & F soluciones
Nacional de Servicios	-	- Plantas de energías	Wilson Herrera: Productos la Fragancia
Bomberos	-	- Cisternas de Bomberos	
Defensa Civil	-	- Cisternas de Carabineros	
Policía	-	- Material de Stock	
Junta de Acción Comunal	-		
Hospital	-		
Comerciantes Organizados	-		

Fuente: Elaboración Propia en base a la metodología para mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. OPS (1998)



### 9.2.1.1.3 Matriz 3: Aspectos físicos del sistema de acueducto

A continuación, se reúnen los daños e impactos estimados en los diferentes componentes del sistema ante la amenaza de remoción en masa.

**Tabla 42.** Aspectos físicos del acueducto.

TIPO DE AMENAZA:		Remoción en masa		PRIORIDAD <sup>1</sup> : ( ) 1 (X) 2 ( ) 3		
Componentes expuestos	Estado del componente	Daños estimados	Tr (días)	Capacidad remanente inmediata		Impacto en el servicio
				[ ]	%	
Cuencas	n/a	Aumento de turbiedad, desvío u obstrucción del cauce	365	10 lps	20	total
Bocatomas	Aceptable	Inutilidad por desvío del cauce	365	0	0	total
Conducciones	Regular estado	Rupturas y desacoples	40	10 lps	20	parcial
Tratamiento	Aceptable	No se esperan	0	60 lps	100	0
Almacenamiento	Aceptable	No se esperan	0	830 m <sup>3</sup>	100	0
Distribución	Regular estado	Rupturas y desacoples en la red secundaria	90	-	80	parcial

<sup>1</sup> Prioridad 1 (Alta): > 50% de componentes afectados y/o afectación de la captación o conducción.  
 Prioridad 2 (Media): 25 – 50% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción.  
 Prioridad 3 (Baja): < 25% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción

Fuente: Elaboración Propia en base a la metodología para mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. OPS (1998)



### 9.2.1.1.4 Matrices 4A y 4B: Medidas de mitigación y emergencia del acueducto

Las siguientes son recomendaciones técnicas de acuerdo a las debilidades encontradas en el sistema. La columna *mitigación* tiene relación con el reforzamiento del sistema para reducir el impacto de los fenómenos de amenaza; en la columna *emergencia*, medidas para mejorar la reacción del acueducto ante dichas situaciones.

**Tabla 43.** 4A: Medidas (administrativas) de mitigación y emergencia .

AREA	MITIGACIÓN		EMERGENCIA
	Medida	Costo COP\$	Medida
A) Organización Institucional	* Optimización del acta de funciones en caso de emergencia con la elaboración del programa para la atención de emergencias y desastres de acuerdo con las guías de la OPS/OMS	19'316.465,40	* Seguir las rutinas de emergencia conocidas.
B) Operación y Mantenimiento	-	-	-
C) Apoyo Administrativo	* Establecer normas y reglamentos para asegurar la disponibilidad de recursos financieros para emergencias, con procedimientos ágiles para su uso.	8'167.957,00	* Mantener bitácoras de acciones efectuadas y registro de intervenciones.
D) Aspectos Operativos	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia en base a la metodología para mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. OPS (1998)

**Tabla 44.** 4B: Medidas (operativas) de mitigación y emergencia del acueducto.

COMPONENTE	MITIGACIÓN		EMERGENCIA
	Medida	Costo COP\$	Medida
Cuenca			* Enviar cuadrilla para remoción de terreno deslizado
Bocatoma	* Protección de las cuencas para atenuar impacto en temporada seca.	114,750,000.00	* Plan de racionamiento para los meses de verano
Conducción - Distribución	* Optimizar la red actual para mejorar las presiones y funcionamiento general. * Usar los resultados del presente estudio para priorizar en las zonas más vulnerables la optimización de la red existente. * Establecer unas condiciones mínimas para la instalación de las conexiones de los tramos principales a los medidores de las casas por parte de los usuarios.	50,500,000.00	-
Tratamiento	-	-	-
Almacenamiento	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia en base a la metodología para mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. OPS (1998)



### 8.2.2.2. Sistema de alcantarillado

#### 9.2.2.2.1 Matriz 1: Aspectos Operativos del sistema de alcantarillado

A continuación, se reúnen los aspectos relacionados con el funcionamiento, capacidad, continuidad del servicio y capacidad de transmisión de información del alcantarillado.

**Tabla 45.** Aspectos Operativos del Alcantarillado del Municipio de Vélez.

COMPONENTE	COBERTURA %	CAPACIDAD	SISTEMAS REMOTOS DE ALERTA
<b>Red de captación</b>			
6 Redes	95	200-300 [lps] estimado	Informes de la comunidad
<b>Entregas</b>			
Quebrada Las Flores	-	-	-
Quebrada Palenque	-	-	-
Quebrada El amarillo	-	-	-
<b>SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y ALERTA INTERINSTITUCIONAL</b>		<b>SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y ALERTA EN LA EMPRESA</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Defensa Civil</li> <li>○ CAS</li> <li>○ Escuela de Carabineros</li> <li>○ Bomberos</li> <li>○ Policía</li> <li>○ SENA</li> <li>○ Comité Local de Atención a Desastres (COPLAD)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Teléfono Celular</li> <li>○ Línea fija 24 horas</li> </ul>	
		<b>SISTEMAS DE INFORMACIÓN A LOS USUARIOS</b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Radio Local</li> <li>○ Televisión Local</li> <li>○ Circulares (Reportes)</li> </ul>	

Fuente: Elaboración Propia en base a la metodología para mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. OPS (1998)

#### 9.2.2.2.2 Matriz 2: Aspectos administrativos

Dado que tanto el acueducto como el alcantarillado están a cargo de EMPREVEL, los aspectos administrativos de la empresa (correspondientes a los dos sistemas) se reúnen en la matriz del capítulo 5.2.1.2 del presente documento.

### 9.2.2.2.3 Matriz 3: Aspectos físicos del alcantarillado

A continuación, se reúnen los daños e impactos estimados en los diferentes componentes del sistema ante la amenaza de remoción en masa.

**Tabla 46.** Aspectos físicos del alcantarillado.

TIPO DE AMENAZA:		Remoción en masa	PRIORIDAD <sup>1</sup> :			( ) 1	(X) 2	( ) 3
Componentes expuestos	Estado del componente	Daños estimados	Tr (días)	Capacidad remanente inmediata		Impacto en el servicio		
				lps	%			
Red de captación	Regular estado	Rupturas y desacoples	365	150-250	80	parcial		

<sup>1</sup> Prioridad 1 (Alta): > 50% de componentes afectados y/o afectación de la captación o conducción.  
 Prioridad 2 (Media): 25 – 50% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción.  
 Prioridad 3 (Baja): < 25% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción

Fuente: Elaboración Propia en base a la metodología para mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. OPS (1998)

### 9.2.2.2.4 Matriz 4B: Medidas de mitigación y emergencia del alcantarillado

Las siguientes son recomendaciones técnicas de acuerdo a las debilidades encontradas en el sistema. La columna *mitigación* tiene relación con el reforzamiento del sistema para reducir el impacto de los fenómenos de amenaza; en la columna *emergencia*, medidas para mejorar la reacción del acueducto ante dichas situaciones.

**Tabla 47.** Medidas (operativas) de mitigación y emergencia del alcantarillado.

COMPONENTE	MITIGACIÓN		EMERGENCIA
	Medida	Costo	
Red de captación	* Priorización de obras del plan maestro de alcantarillado en las zonas más vulnerables identificadas con el presente estudio.	11,144,117.40	-
	* Revisión técnica de los pozos existentes.	3,600,000.00	
	* Realizar mantenimiento preventivo y rutinario de los sumideros existentes.		
Entregas	* Dar celeridad a la construcción de una PTAR para acabar la grave condición de vertimiento de aguas sin tratar a las quebradas aledañas al área urbana.	6,600,000.00	-

Fuente: Elaboración Propia en base a la metodología para mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. OPS (1998)

### 8.3. ANÁLISIS CUANTITATIVO

El análisis cuantitativo se realizó con la metodología de curvas de fragilidad de la UATH, previamente expuesta en este documento, y se aplicó a la red de distribución de agua potable y a la red de recolección y transporte de aguas residuales, esto con el objetivo de identificar los tramos más vulnerables para que se priorice en ellos la ejecución de las obras correspondientes al plan maestro de acueducto y alcantarillado del municipio.

Es importante definir los elementos más vulnerables de las redes de distribución y recolección porque son los componentes que cubren mayor área de la zona urbana y por ello son susceptibles a mas amenazas geológicas, siendo los movimientos de tierra los de mayor potencial de daño, ya que imponen una gran deformación en las tuberías. La falla en estos componentes representa un aumento directo sobre la amenaza, ya que, la presencia de fugas y filtraciones, satura los suelos y disminuye su resistencia agravando la situación de inestabilidad actual al incrementar la susceptibilidad a reptación de los suelos.

A continuación se presentan los planos correspondientes a las redes estudiadas, según la información entregada por las entidades que las administran.

**Figura 123.** Red de acueducto estudiada, área urbana de Vélez.



Fuente: Estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo del municipio de Vélez.

**Figura 124.** Red de alcantarillado estudiada, área urbana de Vélez.

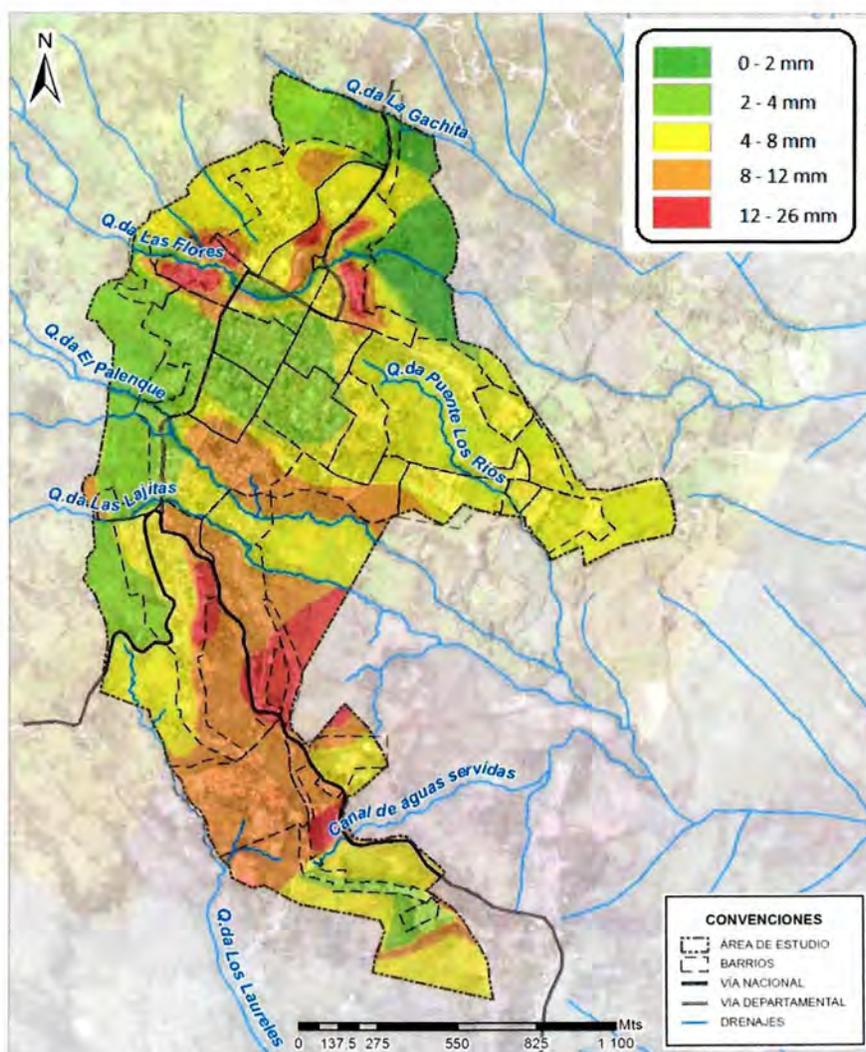


Fuente: Estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo del municipio de Vélez.

La metodología de la UATH permite determinar la relación de reparaciones (cantidad de reparaciones por longitud) de un tramo de tubería de acuerdo a la máxima deformación del suelo esperada y a constantes que dependen del tipo de material del tubo y las juntas; dichas constantes fueron formuladas por diferentes autores a partir del estudio de desastres que han ocurrido en el mundo y se citan en el capítulo 4.2.2 del presente documento.

La deformación máxima usada fue la determinada con el modelamiento geotécnico realizado para el presente estudio de AVR. La figura 125 muestra la deformación permanente en el caso más crítico de los modelos geotécnicos.

**Figura 125.** Mapa de deformaciones máximas según modelamiento geotécnico del área urbana municipio de Vélez.

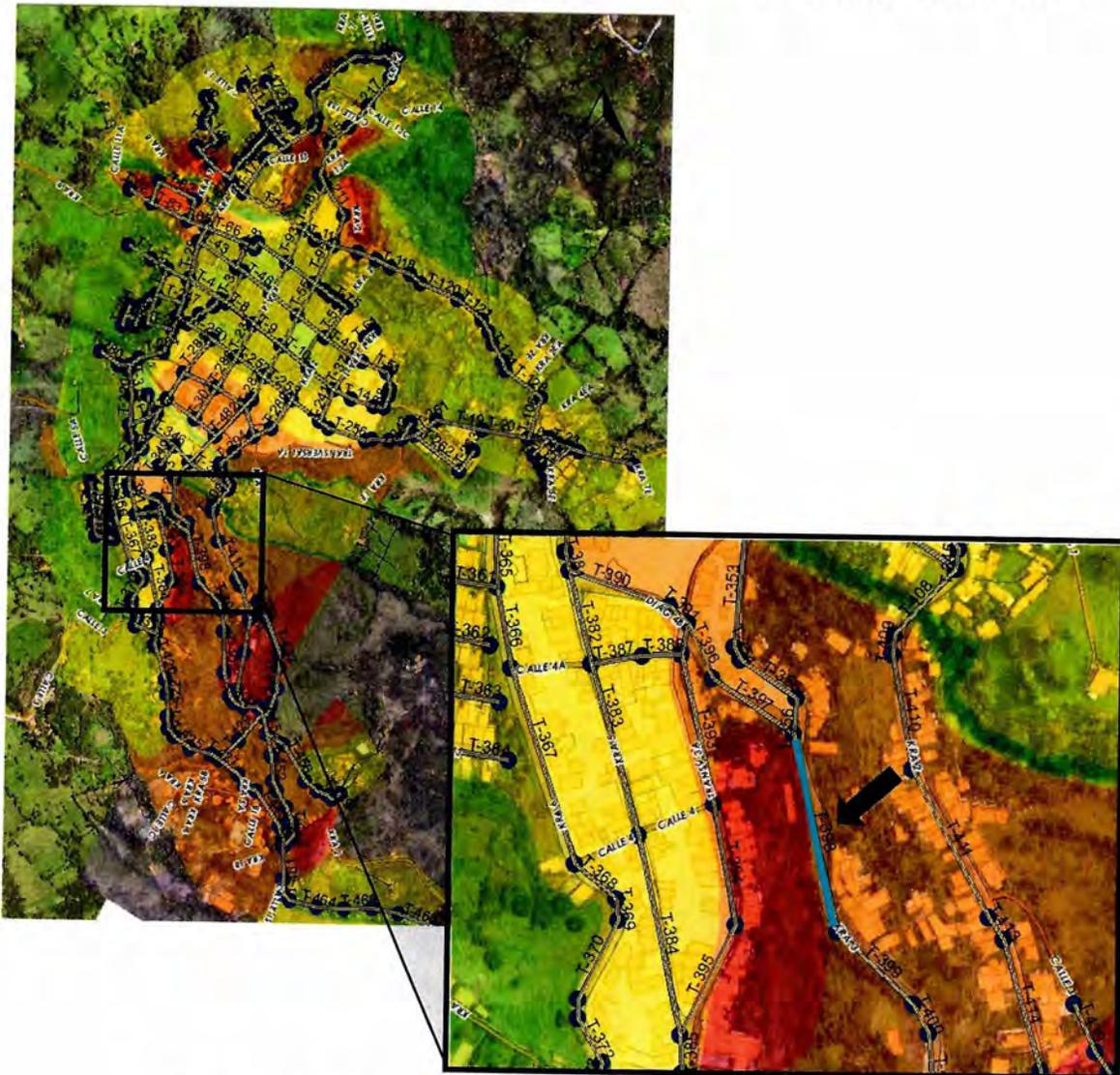


Fuente: Estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo del municipio de Vélez.

### 8.3.1. CÁLCULO TIPO: TRAMO T-398 DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

A continuación se resume brevemente la aplicación de la metodología de la UATH para un tramo concreto de la red de acueducto del área urbana. El tramo se encuentra en una de las zonas con mayor deformación permanente del municipio

Figura 126. Mapa: deformaciones y red de acueducto. Ubicación del tramo T-398.



Fuente: Estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo del municipio de Vélez.

**Localización:** Barrio Santa Teresita Cr 3 con Diag. 4b

**Material:** PVC **Longitud:** 163.45 m

**Deformación permanente del suelo:** 0.01291 [m]

La siguiente tabla resume las propiedades del tramo en cuestión:

**Tabla 48.** Propiedades del tramo.

Tramo	Material	Longitud	Diámetro
T-398	PVC	163,45	2

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta que el material del tramo es PVC se seleccionaron las constantes pertinentes propuestas por cada autor para calcular la relación de reparaciones (RR).

**Tabla 49.** Constantes para el cálculo de RR en el tramo.

	Material	a	b
<b>Honegger &amp; Eguchi</b>	Tubería	2,3463	0,56
	Ductil		
<b>Eidinger &amp; Avila</b>	PVC	0,824	0,53
<b>ALA</b>	PVC	0,848	0,32
<b>Terzi, Alexoudi &amp; Hatzigogos</b>	PVC	3,21	0,41

Fuente: Elaboración Propia

Evaluando la relación de reparaciones dentro de la ecuación de probabilidad con los parámetros identificados, se obtiene la probabilidad de que se presente al menos una falla para la magnitud de deformación del lugar.

$$Pf = 1 - e^{-a \cdot PGD^b \cdot L}$$

La siguiente tabla muestra las probabilidades encontradas para el tramo.

**Tabla 50.** Probabilidad de que se presente al menos una falla en el tramo.

PGD (m)	Pf 1 Honegger & Eguchi	Pf 2 Eidinger & Avila	Pf 3 ALA	Pf 4 Terzi, Alexoudi & Hatzigogos
0,01291	3%	27%	31%	8%

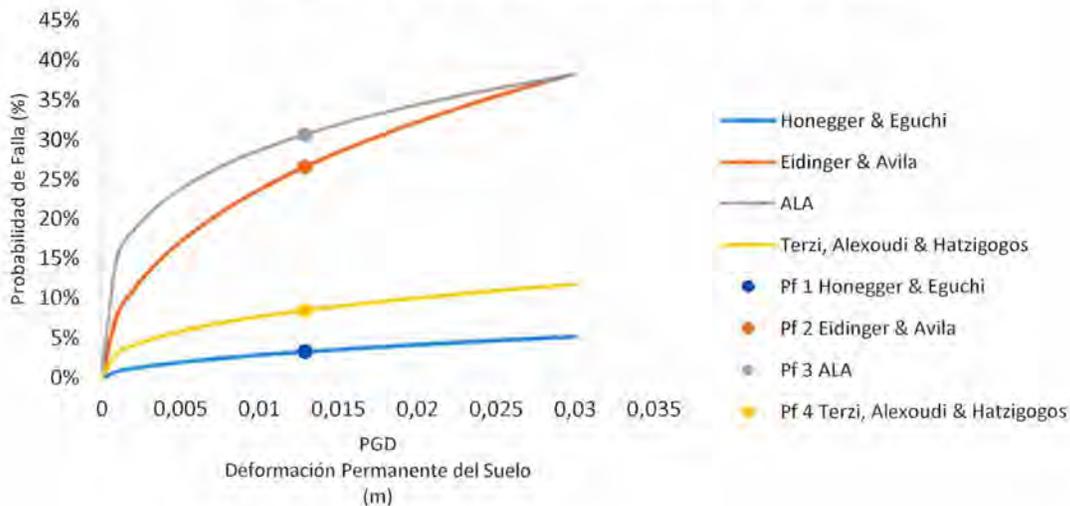
Fuente: Elaboración Propia

Las cuatro probabilidades resultantes, una por cada autor, varían considerablemente debido que los coeficientes para la evaluación de la RR fueron formulados de manera empírica para ajustarlos a la evaluación de los daños de los diferentes desastres a partir de los cuales fueron formulados, siendo unos más conservadores que otros. Además, los valores de probabilidad, evaluados para diferentes autores, varían según el rango de deformación, para deformaciones pequeñas por ejemplo, los coeficientes de la ALA son los más conservadores, mientras que para deformaciones grandes los de Eidinger & Ávila son los que generan probabilidades mayores.

Dado que el rango de deformaciones encontrado en el municipio es pequeño, para el tramo analizado y los demás tramos de la red, la probabilidad seleccionada para el tramo es la obtenida a partir de los coeficientes de la ALA, pues es la más crítica. Por tanto, la probabilidad de que se presente al menos una falla en el tramo T-398 de la red de distribución del acueducto existente es del 31%, según los coeficientes de la ALA.

Las curvas reflejan la variación en el valor de la probabilidad que se presente al menos una falla en la tubería de PVC del tramo para diferentes estados de deformación del suelo. En la gráfica a continuación, se indica con puntos la probabilidad de falla para la deformación permanente del suelo del tramo T398.

**Figura 127.** Curvas de fragilidad para el tramo T-398.



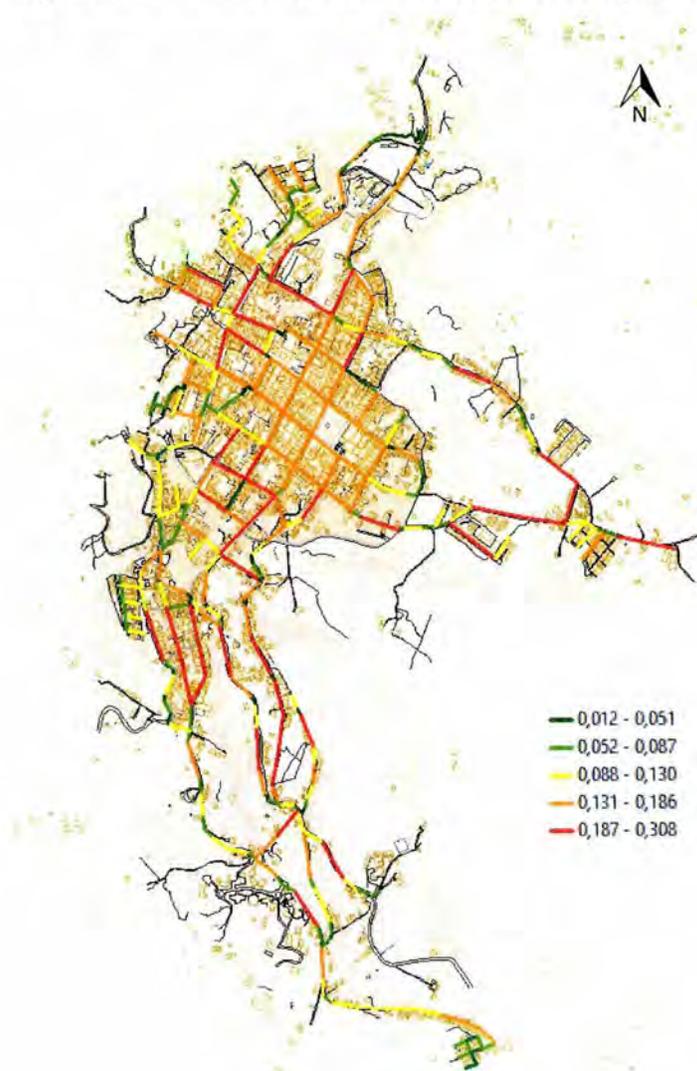
Fuente: Elaboración Propia

## 8.3.2. RESULTADOS

### 8.3.2.1. Red de acueducto

De acuerdo al tipo de material, longitud del elemento y la deformación permanente del suelo, los tramos del acueducto más vulnerables (con probabilidad de falla de hasta 31%) se encontraron sobre los barrios Kennedy, La Feria, Aquileo Parra, San Antonio Galán, Las Nieves, Santander, Reino Unido, Francisco Benavides, La Rosita, Palmira, Las cuadras, Palenque, Ricaurte, Santa Teresita, San Andresito, Carabineros y el Colegio, como se puede apreciar en la figura 128.

**Figura 128.** Vulnerabilidad de la red de acueducto (Plano U-31).



Fuente: Elaboración Propia

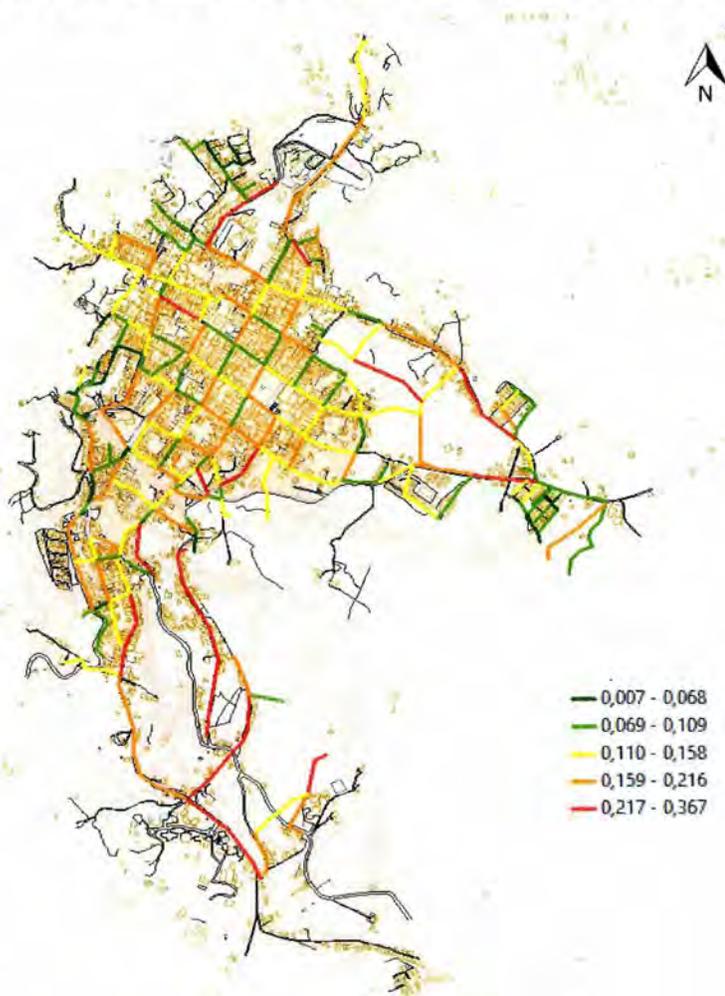
Los planos se encuentran en el Volumen VII de planos. Se recomienda priorizar las labores de ejecución del plan maestro de acueducto y alcantarillado en los tramos con mayor probabilidad de falla.

En el Anexo X-1 se encuentra la tabla que resume los resultados obtenidos de la evaluación cuantitativa de la vulnerabilidad para la red de distribución de agua potable.

### 8.3.2.2. Red de alcantarillado

De acuerdo al tipo de material, longitud del elemento y la deformación permanente del suelo, las cuadras del alcantarillado más vulnerables se encontraron sobre los barrios La Esperanza, Kennedy, La Feria, Santander, Reino Unido, Pablo VI, Las cuadras, Ricaurte, Santa Teresita, San Andresito y Carabineros, como se puede apreciar en la figura 129.

**Figura 129.** Vulnerabilidad de la red de alcantarillado (Plano U-32).



Fuente: Elaboración Propia



Los planos se encuentran en el volumen VII de planos. Se recomienda priorizar las labores de ejecución del plan maestro de acueducto y alcantarillado en las cuadras con mayor probabilidad de falla.

En el Anexo X-2 se encuentran las tablas que resumen los resultados obtenidos, en ellas se presentan por cuadras, las propiedades del tramo, la deformación del terreno (PGD) y la probabilidad de falla resultante.



## 9. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

AISS y FOREC (2001). Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería, Bogotá.

AMERICAN LIFELINES ALLIANCE. (2001). Seismic Fragility Formulations For Water Systems. Parts 1 & 2. Federal Emergency Management Agency. American Society of Civil Engineers. United States of America.

APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL, (1985). Earthquake damage evaluation data for California, ATC-13, Redwood City, California, USA.

ARDILA, R. Y MENDEZ, A. (2003). Caracterización dinámica de las edificaciones ubicadas en el sector de Morrорrico (Bucaramanga). Trabajo de grado, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

BANDEMÉR H., GOTTWALD S. (1996). Fuzzy sets, fuzzy logic, fuzzy Methods with Applications. John Wiley and sons, New York.

Cardona, O. y Hurtado, J. (1990). Propuesta metodológica para los análisis de vulnerabilidad. Informe de consultoría, proyecto UNDR0/ACDI/ONAD para la Mitigación de Riesgos en Colombia, Santiago de Cali.

CARREÑO, O. Y RODRÍGUEZ, R. (2003). Caracterización estructural de edificaciones de uno y dos niveles ubicadas en la meseta de Bucaramanga. Trabajo de grado, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

CARRILLO, W (2004). Modelamiento del comportamiento inelástico de pórticos en concreto con mampostería no reforzada, Tesis de Maestría, Universidad de los Andes, Bogotá.

CASTELLANOS, C. J. Y GARCÍA, O. M. (2003). Caracterización estructural de edificaciones de primer y segundo nivel ubicadas en una zona de Bucaramanga. Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

CHAKROBORTY Y KIKUCHI, 1990

CHAO Y AYYUB, 1995

CDMB, 2009. Normas técnicas para el control de erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos, Resolución 1294 de 2009 de la Corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga, Bucaramanga.

CENTER FOR ADVANCED ENGINEERING. (1997). Risk & Realities: A Multi-disciplinary Approach to the Vulnerability of Lifelines to Natural Hazards. University of Canterbury Christchurch. New Zealand.



DÍAZ, G. Análisis de vulnerabilidad en redes hidráulicas. Caso de estudio: Malecón de la Habana. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Centro de Investigaciones Hidráulicas.

EIDINGER, JOHN M., ERNESTO A. AVILA. (1999). Guidelines for the Seismic Evaluation and Upgrade of Water Transmission Facilities. ASCE Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering. Monograph No. 15. United States of America

EMPREVEL E.S.P. Y ALCALDÍA DE VÉLEZ (2013). Plan de Saneamiento y manejo de vertimientos. Municipio de Vélez, Santander, Colombia.

EUROPEAN SEISMOLOGICAL COMMISSION (1998). European Macroseismic Scale 1998 EMS-98, Editor G GRÜNTAL, Luxembourg.

FAJARDO, J. (2008). Diagnóstico sistemas de acueducto y alcantarillado, cabecera municipal de Vélez. Vélez, Santander.

Fell, R., 1994. Landslide risk assessment and acceptable risk. Canadian Geotechnical Journal 31, 261–272.

FEMA 154/Report ATC-21 (1988). Rapid Visual Screening of Building for Potential Seismic Hazard, Washington.

FEMA 356 Ruiz-García, J, T Sánchez y S M Alcocer (1998). Rehabilitación de Muros de Mampostería Confinada Mediante Malla de Alambre y Recubrimiento de Mortero, Memorias del Onceavo Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, 808-889.

Felber A.J., Development of a hybrid bridge evaluation system, PhD thesis, Department of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, Canada (1993).

GÓMEZ, I. Caracterización dinámica experimental de puentes de hormigón simplemente apoyados a partir de mediciones de vibración ambiental. Bucaramanga, 2010. Tesis de Maestría. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander.

HERBERT. F. (1996). Guías para la Elaboración del Análisis de Vulnerabilidad de sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Limas CEPIS.

HONEGGER D. G., EGUCHI R. T. (1992). Determination of the relative vulnerabilities to seismic damage for San Diego County Water Authority (SDWCA). Water transmission pipelines.

INGEOMINAS - Instituto Nacional de investigaciones Geológico-Mineras. (1988). Problemas geológicos en los barrios Palenque, Santa Teresita y Ricaurte, Municipio de Vélez, Santander

INGEOMINAS – Instituto colombiano de Geología y Minería. (2008). Concepto técnico sobre agrietamientos que afectan el casco urbano del Municipio de Vélez (Barrios Las



FERIAS, LA ESPERANZA Y SAN LUIS. Subdirección de amenazas geológicas, grupo de trabajo Regional Bucaramanga. Bucaramanga.

INGEOMINAS – Instituto colombiano de Geología y Minería. (2011). Concepto técnico sobre movimientos de remoción en masa en la cabecera municipal de Vélez, Departamento de Santander. Subdirección de amenazas geológicas, grupo de trabajo regional Bucaramanga. Bucaramanga.

KACPRZYK J (1997). MULTISTAGE FUZZY CONTROL, a model-based approach to fuzzy control and decision making. Jhon Wiley and sons, New York.

K.A. GENT FRANCH, G. GIULIANO MORBELLI, M.A. ASTROZA INOSTROZA AND R.E. GORI, A seismic vulnerability index for confined masonry shear wall buildings and a relationship with the damage, Eng Struct 30 (2008), pp. 2605–2612.

LANZANO G., ET AL. (2014). Seismic vulnerability of gas and liquid buried pipelines. Journal of loss prevention in the process industries 28 (2014) 72-78. Napoli, Italy.

MALDONADO, E., G. CHIO Y I. D. GÓMEZ, “Funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño sísmico para edificaciones de mampostería utilizando técnicas de simulación”, DYNA, año 75, no. 155, pp. 63-76, 2008.

MALDONADO, E., G. CHIO, Vulnerabilidad sísmica en centros urbanos. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander, 283 p, 2008.

MALDONADO, E., G. CHIO Y I. D. GÓMEZ, “Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos”, Ingeniería y Universidad, vol. 11, no. 2, pp. 149-168, 2007.

MALDONADO, E., CHIO, G. Y GOMEZ, I. (2007). Aplicación de los conjuntos difusos en la evaluación de los parámetros de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de mampostería. Artículo en revisión.

MALDONADO, E. Y CHIO, G. (2007). Visión estructural de las edificaciones de la ciudad de Bucaramanga, Ediciones Universidad Industrial de Santander.

MALDONADO, E., CHIO, G. Y GÓMEZ, I. Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos, Artículo en revisión, 2007.

MARCO UZIELLI, FARROKH NADIM, SUZANNE LACASSE, AMIR M. KAYNIA (2008 ). A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides, Engineering Geology 102 (2008) 251–256.

NARVÁEZ, J. (2002). Diagnóstico de la vulnerabilidad física y funcional del sistema de acueducto y alcantarillado de Santa Rosa de Cabal, Risaralda. Empresa de obras sanitarias de Santa Rosa de Cabal. Santa Rosa de Cabal.



OPS – Organización Panamericana de la Salud. (1998). Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. Guías para el análisis de vulnerabilidad. Organización Mundial de la Salud. Washington, D.C.

OPS – Organización Panamericana de la Salud. (1997). Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable frente a deslizamientos. Estudio de Caso. Caracas.

PAULTRE, P., PROULX, J., TALBOT, M., Dynamic Testing Procedures for Highway Bridges Using Traffic Loads, Journal of Structural Engineering, Vol. 121, N. 2, p. 362-376, ASCE., 1995.

PHOON, K.-K., 2004. Risk and vulnerability for geohazards — vulnerability in relation to risk management of natural hazards. ICG Report 2004-2-3, Oslo.

RESTREPO MEJÍA, JUAN CARLOS AND TAKEUCHI TAM, CAORI PATRICIA. Estudio del comportamiento de elementos de borde en la mampostería estructural con ladrillos de alta resistencia. Ing. Investig., Ago 2006, vol.26, no.2, p.10-19. ISSN 0120-5609.

RODRÍGUEZ, A., Y RODRÍGUEZ, C. (2011). Análisis y evaluación de riesgo sísmico en líneas vitales. Caso de estudio Bogotá D.C.

RUIZ GARCÍA J, NEGRETE M, Drift-based fragility assessment of confined masonry walls in seismic zones, Structures, Volume 31, Issue 1, January 2009, Pages 170-18.

SAFELAND. (2011). Physical vulnerability of elements at risk to landslides: Methodology for evaluation, fragility curves and damage states for buildings and lifelines. Living with landslide risk in Europe: Assessment, effects of global change, and risk management strategies.

SHINOZUKA, M. et Al. (2000). "Statistical analysis of fragility curves. Journal of Engineering Mechanics", ASCE, Vol. 126, No. 12, pp.1224–1231.

SUÁREZ, J. (2001). Control de erosión en zonas tropicales, Ediciones Universidad Industrial de Santander, pg. 555.

SUÁREZ, J. (2009 a). Deslizamientos, Análisis geotécnico, Volumen 1. División de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 588 pag.

SUÁREZ, J. (2009 b). Deslizamientos, Técnicas de remediación, Volumen 2. División de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 417 pag.

SWEENEY, M. et Al. (2004). "Pipelines and landslides in rugged terrain: A database, historic risks and pipeline vulnerability." Proc., Int. Conf. on Terrain and Geohazard

TEE ET. al., 1988

TENA, A., JUÁREZ, A. Y SALINAS, V.H. (2007). Resistencia y deformación de muros de mampostería combinada y confinada sujetos a cargas laterales. Revista de Ingeniería Sísmica, No 76 29-60.



TENA-COLUNGA, A. JUÁREZ-ÁNGELES AND V.H. SALINAS-VALLEJO, Cyclic behavior of combined and confined masonry walls, *Eng Struct* **31** (2009), pp. 240–259

TERANO, T., ASAI, K. Y SUGENO, M. Fuzzy system theory and its applications, Academic press, Boston, 1992.

TERZI, V. G., ALEXOUDI, T. N. HATZIGOGOS. (2007). Numerical assessment of damage state of segmented pipelines due to permanent ground deformation. In Tenth International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, Tokyo, Japan, Paper n°202.

UIS y Alcaldía de Floridablanca. Metodología para la evaluación del riesgo debido a amenazas naturales en zonas urbanas de ciudades colombianas. Caso de estudio Floridablanca. Fase I Riesgo sísmico. Convenio ínter administrativo 012-2006.

VÁZQUEZ, D., LÓPEZ, R. Y SUÁREZ, L. (---). Comportamiento sísmico y rehabilitación de residencias soportadas en columnas y localizadas en terrenos escarpados. *Revista de Desastres Naturales e Infraestructura Civil*, Puerto Rico.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets, *Information and control*, 8, 1965.

ZORAN V. MILUTINOVIC AND GORAN S. TRENDAFILOSKI, 2003, WP4 Vulnerability of current buildings, No. of pages 110 (Figs. 18, Tables 48, Appendices 2)

ZÚÑIGA, O. Y TERÁN, A. (2008). Evaluación basada en desplazamientos de edificaciones de mampostería confinada. *Revista de Ingeniería Sísmica*, No. 79 25-48.